

**Titre:** Modélisation et amélioration d'un réseau de distribution logistique  
Title: en milieu hospitalier

**Auteur:** Gabriel Madelin  
Author:

**Date:** 2017

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Madelin, G. (2017). Modélisation et amélioration d'un réseau de distribution  
Citation: logistique en milieu hospitalier [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de  
Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2470/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/2470/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de  
recherche:** Nadia Lahrichi  
Advisors:

**Programme:** Génie industriel  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

MODÉLISATION ET AMÉLIORATION D'UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION LOGISTIQUE  
EN MILIEU HOSPITALIER

GABRIEL MADELIN

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)

FÉVRIER 2017

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

MODÉLISATION ET AMÉLIORATION D'UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION LOGISTIQUE  
EN MILIEU HOSPITALIER

présenté par : MADELIN Gabriel

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. ROUSSEAU Louis-Martin, Ph. D., président

Mme LAHRICHI Nadia, Ph. D., membre et directrice de recherche

M. RUIZ Angel, Doctorat, membre

## DÉDICACE

*À ma mère, mon père et mes frères.*

## REMERCIEMENTS

Je remercie le personnel de l'Hôpital Général Juif de Montréal de m'avoir permis de réaliser ce travail.

Je remercie l'École Polytechnique de Montréal et son corps enseignant pour le cadre de travail qu'ils m'ont fourni tout au long de ma maîtrise.

Je remercie Léo Mougel, Pierre-François Pinard, Louis Lecostey, Daniel Kossar et Jee-Seon Yang pour leur aide.

## RÉSUMÉ

L'amélioration des processus logistiques est primordiale pour le bon fonctionnement d'un système. Ceci est vrai pour les systèmes de santé tels que les hôpitaux dont le processus logistique général se présente comme un réseau de distribution de matériel. Une revue littérature sur ce sujet permet de cerner les enjeux du milieu hospitalier qui sont complexes d'une part et de l'amélioration des processus d'un réseau de distribution d'autre part. De plus elle permet d'avoir une vue globale sur les nombreuses méthodes qui existent, des méthodes analytiques aux méthodes pratiques. Ce mémoire présente, sous la forme d'un article, l'amélioration des processus logistiques d'un hôpital utilisant comme méthode la simulation. Le modèle de simulation est utilisé pour le test de scénarios pouvant potentiellement contribuer à cette amélioration. De plus il est couplé à une procédure d'optimisation qui permet de déterminer les meilleures routes de distribution. Les résultats du test de différents scénarios mettent en évidence des améliorations concrètes qui pourraient être appliquées par des entreprises. Parmi ces améliorations on peut citer l'utilisation de mêmes chariots pour différents types de matériel, la diminution du nombre de livraison pour certaines unités de soins et l'utilisation de routes optimisées qui permettent de réduire respectivement le nombre de routes, les problèmes de stock dans les unités de soins et les temps de transport.

## **ABSTRACT**

The improvement of logistic processes is very important for the good working of a system. It concerns health care systems such as hospitals where logistics is mainly a material distribution network. A literature review on this topic gives all great issues of healthcare systems that are complex and improvement of distribution network processes. In addition, it gives an overview on the different methods from the analytic ones to the practical ones. This dissertation presents in an article, the improvement of the logistic processes of a hospital using the simulation method. The simulation model is also used for testing scenario opportunities and paired with an optimization algorithm used to get the best distribution routes. The results of the tests of scenarios highlight concrete improvements that can be used by companies. For example, there are the use of the same cart different types of materials, the reduction of the period of distribution for certain care units and the use optimize routes, reducing respectively the number of routes, the number of care unit stock problems and the transportation time.

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT .....	VI
TABLE DES MATIÈRES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES FIGURES .....	X
LISTE DES ANNEXES.....	XII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE .....	4
CHAPITRE 3 ARTICLE 1 : MODELLING AND IMPROVING THE LOGISTIC DISTRIBUTION NETWORK OF A HOSPITAL.....	10
3.1 Authors .....	10
3.2 Abstract .....	10
3.3 Introduction .....	10
3.4 Logistics of the hospital distribution network.....	12
3.5 Literature review .....	15
3.6 The Jewish General Hospital case.....	17
3.7 Components of the Simulation model.....	19
3.8 Tests of scenarios .....	25
3.9 Experiments and analysis .....	28
3.10 Conclusions .....	37
3.11 References .....	39



CHAPITRE 4	COMPLÉMENTS .....	40
4.1	Choix du logiciel <i>Arena</i> .....	40
4.2	Compléments sur la méthode .....	42
CHAPITRE 5	DISCUSSION GÉNÉRALE .....	45
CHAPITRE 6	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	47
BIBLIOGRAPHIE .....		49
ANNEXES .....		52

## LISTE DES TABLEAUX

Table 3.1 : Delivery patterns .....	25
Table 3.2 : Scenario parameters .....	27
Table 3.3 : Scenarios .....	28
Table 3.4 : Variability of the model .....	30
Table 3.5 : Stock level issues (in %) .....	31
Table 3.6 : Main KPI results .....	32
Table 3.7 : Use of resources with a demand following a normal distribution .....	33
Table 3.8 : Loading and transportation time results .....	34
Table 3.9 : Details of JGH zones.....	37
Tableau 4.1 : Comparaison de Arena et C [34] .....	41
Tableau E.1 : Paramètres du modèle de simulation .....	56
Tableau H.1 : Temps des processus extraits des données .....	63
Tableau L.1 : Réduction du modèle (détails) .....	68
Tableau M.1 : Nombre de routes.....	69

## LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 : Distribution process .....	13
Figure 3.2 : Integration of the optimization procedure in the simulation .....	22
Figure 3.3 : Simulation of planned routes .....	23
Figure 3.4 : Values of main KPIs by size of model .....	29
Figure 3.5 : Values of transportation time by size of model .....	29
Figure 3.6 : Average resource use for different distribution frequencies.....	32
Figure 3.7 : Average number of problematical stock levels for different distribution frequencies	33
Figure 3.8 : Average resource use for different distribution scenarios .....	34
Figure 3.9 : Results of route optimization tool.....	35
Figure 3.10 : Results of emergency cart tests.....	36
Figure 3.11 : Transportation time improvement by zone .....	37
Figure 4.1 : Vue d'ensemble de la méthode .....	42
Figure 4.2 : Commande VBA de lancement de la procédure d'optimisation .....	43
Figure 4.3 : Fonctionnement général de la méthode .....	44
Figure A.1 : Description des CISSS.....	52
Figure B.1 : Modélisation des processus avec <i>Arena</i> : Unité de soin (modèle conceptuel) .....	53
Figure B.2 : Modélisation des processus avec <i>Arena</i> : Unité de soin (modélisation avec <i>Arena</i> ).53	
Figure C.1 : Modélisation des processus avec <i>Arena</i> : Réception (modèle conceptuel) .....	54
Figure C.2 : Modélisation des processus avec <i>Arena</i> : Réception (modélisation avec <i>Arena</i> ).....	54
Figure D.1 : Modélisation des processus avec <i>Arena</i> : Remplissage d'un chariot (modèle conceptuel) .....	55
Figure D.2 : Modélisation des processus avec <i>Arena</i> : Remplissage d'un chariot (modélisation avec <i>Arena</i> ) .....	55

Figure K.1 : Exemple de routes optimisées utilisées lors de la simulation .....	67
---	----

## LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A – DESCRIPTION DES CISSS .....	52
ANNEXE B – MODÉLISATION DES PROCESSUS AVEC <i>ARENA</i> : UNITÉ DE SOIN .....	53
ANNEXE C - MODÉLISATION DES PROCESSUS AVEC <i>ARENA</i> : RÉCEPTION.....	54
ANNEXE D - MODÉLISATION DES PROCESSUS AVEC <i>ARENA</i> : REMPLISSAGE D'UN CHARIOT .....	55
ANNEXE E – PARAMÈTRES DU MODÈLE DE SIMULATION .....	56
ANNEXE F – PRÉSENTATION DES TRAVAUX DE RECHERCHE À L'HÔPITAL GÉNÉRAL JUIF DE MONTRÉAL.....	57
ANNEXE G – EXEMPLE DE DOCUMENT PRÉSENTÉ À L'HÔPITAL GÉNÉRAL JUIF DE MONTRÉAL POUR LA VALIDATION DU MODÈLE DE SIMULATION .....	60
ANNEXE H – TEMPS DES PROCESSUS EXTRAITS DES DONNÉES .....	63
ANNEXE I – « MAPPING » DES PROCESSUS LOGISTIQUES .....	64
ANNEXE J – VUE D'ENSEMBLE DU MODÈLE DE SIMULATION.....	66
ANNEXE K – EXEMPLE DE ROUTES OPTIMISÉES UTILISÉES LORS DE LA SIMULATION .....	67
ANNEXE L – RÉDUCTION DU MODÈLE (DÉTAILS) .....	68
ANNEXE M – NOMBRE DE ROUTES .....	69
ANNEXE N – CONFIRMATION DE SOUMISSION DE L'ARTICLE .....	70

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Le système de santé au Québec a connu des changements au cours des dernières années. En effet le réseau de santé Québécois a été réorganisé en Centres Intégrés de Santé et de Services Sociaux (CISSS) depuis le 1<sup>er</sup> avril 2015. Chacun de ces CISSS regroupe différents types de services comme des CH (Centre Hospitalier) et des CLSC (Centre Local de Services Communautaires). Une description plus détaillée d'un CISSS se trouve en annexe (Annexe A). Ces réorganisations sont l'occasion de restructurer les services logistiques d'un établissement et de les améliorer. Parmi ces services logistiques à améliorer on peut citer les routes de distribution de matériel ainsi que les processus liés au réseau de distribution que forment ces routes. Les routes de distribution correspondent aux déplacements effectués par des employés dans le but de distribuer du matériel et parfois même en collecter. Ces services logistiques sont importants car le bon fonctionnement des unités de soins repose sur l'utilisation du matériel qui est distribué. Landry and Philippe [1] ont approfondi ce point, démontrant comment la logistique peut contribuer au bon fonctionnement d'un établissement hospitalier. Donc l'amélioration des opérations logistiques comme les routes de distribution entre les différentes unités et du fonctionnement des processus logistiques est extrêmement utile car c'est le fonctionnement global de l'hôpital (logistique et unités de soins) dont le principal indicateur est la qualité des soins qu'elle permet d'améliorer. Ainsi entre l'importance du bon fonctionnement des processus de distribution et la réorganisation citée plus haut, le regroupement des activités logistiques entre différents établissements autour de l'Hôpital Général Juif de Montréal qui est le grand centre hospitalier du CIUSSS du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal et qui ouvre un nouveau grand pavillon, le pavillon K, il est logique de prévoir l'amélioration du réseau de distribution.

Le choix de la simulation est justifié dans le cas où nous cherchons à reproduire le fonctionnement d'un système, un réseau de distribution logistique, et à tester des scénarios pour proposer des améliorations possibles. Les principaux avantages de la simulation sont la flexibilité, la rapidité et le faible coût. De plus la simulation est devenue depuis des années une très bonne solution d'aide à la prise de décision. En effet le monde industriel est devenu encore plus compétitif et les entreprises opèrent maintenant dans le monde entier avec des implantations dans plusieurs pays, et des organisations plus complexes comme l'écrivent Terzi and Cavalieri

[2] et doivent donc prendre des décisions majeures. Bien que les outils de gestion logistique (ERP), utilisés pour l'ordonnancement de la production et d'améliorer les processus, aient démontrés une certaine efficacité maintenant la solution idéale pour la définition d'une nouvelle stratégie semble être la simulation couplée à l'optimisation. De plus la simulation est adaptée au contexte hospitalier. AbuKhoua, Al-Jaroodi [3] montrent que la simulation permet de développer des outils d'aide à la décision pour la gestion des processus logistiques dans le domaine de la santé.

Ainsi la problématique de ce mémoire est l'amélioration de la logistique et plus précisément d'un réseau de distribution dans le cas d'un hôpital à l'aide de la simulation. Les objectifs sont, premièrement, le développement d'un modèle de simulation du réseau de distribution logistique de l'hôpital et, deuxièmement, le test de différentes possibles améliorations comme par exemple l'utilisation de mêmes chariots pour différents types de matériels, la diminution du nombre de livraisons pour certaines unités de soins et l'utilisation de routes de distribution optimisées. Pour la simulation, le logiciel Arena Simulation a été choisi. Le modèle de simulation est couplé à une procédure d'optimisation qui permet de déterminer les meilleures routes de distribution basée sur la valeur d'indicateurs de performance. Cette optimisation correspond à la résolution d'un problème de tournées de véhicules (*Vehicle Routing Problem*) faisant appel à une recherche tabou.

Dans le chapitre qui suit (Revue de littérature) nous présentons des projets de recherche à propos de l'amélioration des réseaux de distribution dans un hôpital grâce à la simulation. Parce qu'il n'y en pas beaucoup, nous avons également étudié les travaux à propos de l'amélioration des différents processus hospitaliers, et à propos de l'amélioration des réseaux de distribution dans d'autres domaines que celui la santé. Nous montrons comment ces travaux nous ont aidés dans notre travail et comment ce dernier est composé de multiples aspects présents dans la littérature. Ce mémoire a fait l'objet de la rédaction d'un article. Cet article présente plus en détails le travail effectué à savoir l'analyse des activités logistiques d'un hôpital, la construction du modèle de simulation, le développement de l'optimisation de la planification des routes, le test de possibles améliorations ainsi que l'analyse des résultats. Il est présenté en chapitre 3 de ce mémoire. Le chapitre 4 contient des compléments sur le choix du logiciel *Arena Simulation*, sur la méthode utilisée pour le développement de la simulation couplée à une procédure d'optimisation et sur le fonctionnement général de la méthode. Le chapitre 6 est une discussion générale sur le mémoire

et sur les résultats exposés dans l'article. Une précision sera faite quant à l'utilisation des résultats par l'hôpital. Le mémoire s'achève sur une conclusion décrivant les contributions du mémoire avec ses limites et ses contraintes. Elle identifie également les nouvelles voies de recherche ainsi que des recommandations.



## CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Nous avons effectué une revue de littérature afin de trouver des travaux de recherche sur l'amélioration des réseaux de distribution de matériel en milieu hospitalier avec la simulation. Mais la littérature sur ce sujet est rare car c'est un sujet très précis. Bien sûr il existe des études proches du sujet mais qui diffèrent sur quelques points. Ces points sont présentés dans la première partie de la revue. Nous avons précisé les points utiles pour notre étude mais aussi les points qui divergent de la nôtre.

Yanbing, Aihua [4] utilisent la simulation à événements discrets dans le but d'analyser les performances d'un hôpital. Aussi ils utilisent cette simulation pour tester des processus alternatifs et sélectionner les meilleurs d'entre eux en se basant sur des indicateurs de performance. Les processus alternatifs sont appelés des scénarios. Cette méthode pour tester des scénarios nous a aidés à construire notre propre méthode. La principale différence avec notre étude est que ce sont des flux de patients et des processus de soins qui sont simulés et non des processus logistiques uniquement. De plus la simulation de la partie logistique n'inclut pas une optimisation des routes. À l'inverse Kergosien [5] essaye de résoudre des problèmes de routes et de planification pour des flux de patients mais aussi des flux logistiques, se concentrant sur l'optimisation des routes de distribution. Il applique la résolution de ces problèmes au CHRU de Tours (centre hospitalier régional universitaire). Il utilise différents algorithmes de résolution et d'optimisation comme la PLNE (programmation linéaire en nombres entiers), la recherche taboue et un algorithme génétique pour déterminer la meilleure solution. La simulation ne sert pas à simuler les processus ou à tester des améliorations mais à créer un contexte pour la résolution de son modèle d'optimisation. Notre étude est à la croisée de ces deux études.

Su, Gammelgaard [6] étudient le problème différemment. En effet, ils travaillent également sur l'amélioration des processus logistiques d'un hôpital mais sans utiliser l'optimisation ni la simulation. Après avoir analysé la logistique en général et la logistique hospitalière, ils développent plusieurs méthodes innovantes comme un environnement interactif pour les intervenants de la chaîne d'approvisionnement afin de les appliquer et d'améliorer les services. Leur article est dédié au contexte hospitalier. Ils n'utilisent pas de méthodes techniques pour tester leurs innovations mais ils les appliquent directement au système affectant le travail des

employés et les activités dans la réalité. Dans la plupart des cas, c'est trop coûteux et limité de procéder ainsi. Ruohonen and Nakari [7] analysent et améliorent la logistique d'un système de santé en utilisant la simulation à événements discrets. Ils concluent leur étude par le fait que si un département logistique planifie la distribution du matériel et réorganise l'utilisation de ses ressources, il peut sauver jusqu'à 30% sur ses dépenses totales. Ceci est très significatif parce que les dépenses de ce département représentent une part importante dans les dépenses générales d'un hôpital. La différence entre leur étude et la nôtre est que le modèle de simulation n'est pas couplé avec un outil permettant d'optimiser les routes de distribution. Kammoun, Loukil [8] effectuent une revue sur l'utilisation et l'intérêt de la simulation à événements discrets pour la gestion logistique en hôpital.

Comme il y a peu d'études à propos de l'amélioration de la logistique d'hôpital avec la simulation et l'optimisation combinées, nous avons exploré la littérature à propos de l'amélioration des différents processus d'un hôpital, pas seulement ceux logistiques, afin de lister les différentes méthodes et d'en apprendre plus sur le contexte médical. Les principales méthodes sont la simulation, le test de scénarios et l'optimisation.

La première étude est une revue traitant de l'utilisation de la simulation pour l'amélioration des systèmes de santé dans la littérature. En effet Roberts [9] décrit pourquoi la simulation est une des meilleures méthodes pour analyser et améliorer les services des établissements de la santé. Il traite toutes les activités d'un hôpital et pas seulement des opérations logistiques. Il donne des détails sur le fait que les systèmes de santé sont plus complexes avec certaines spécificités qui ont des conséquences sur les processus logistiques. Il finit par lister différents outils pour réaliser ces simulations. Parmi eux se trouve le logiciel *Arena Simulation*, le logiciel que nous avons utilisé. Un exemple de simulation de processus dans le milieu médical est le travail de Coelli, Ferreira [10]. Ils développent deux modèles avec différentes configurations et différents paramètres afin de modéliser le flux de patient dans une clinique de mammographie et d'analyser ses performances. Comme nous le faisons dans notre étude, ils ont mis en place une gestion des données d'entrée dans leurs modèles afin de générer différents scénarios et de déterminer les meilleurs d'entre eux. Le résultat de leur étude est la proposition d'un scénario qui permet de réduire le temps entre l'entrée et la sortie des patients de la clinique. L'étude de Cassettari, Mosca

[11] est un autre exemple de simulation de processus médicaux. Ils y rappellent à quel point l'amélioration de l'efficacité de tous les processus est importante car elle permet la réduction de coûts. Ils prennent l'exemple du secteur médical Italien. Ils étudient plus spécifiquement le processus de stérilisation des outils chirurgicaux. La simulation les aide à démontrer l'inefficacité des processus tel qu'il fonctionne. Après cela ils essayent de nouvelles stratégies afin de réduire les coûts.

La simulation à événements discrets n'est pas le seul moyen pour améliorer les processus de systèmes de soins. Lapierre and Ruiz [12] utilisent des algorithmes et des modèles pour déterminer une planification optimale pour l'approvisionnement. Le but est de prouver que la planification des activités peut améliorer les activités logistiques d'un hôpital. La planification inclut la coordination entre l'étape de commande au fournisseur au celle de livraison à l'unité de soins. Ils développent une métaheuristique utilisant une recherche taboue afin de prendre les meilleures décisions pour la planification. Cette étude nous a permis de prendre une décision concernant la période d'optimisation. Nous avons pris la plus grande possible (égale à la durée de simulation) afin d'avoir une large planification et non de devoir optimiser toutes les demi-journées de simulation par exemple.

Liu, Zhang [13] construisent également un calendrier optimal pour supporter les activités logistiques et plus précisément la gestion des ressources de la commande à la réception de marchandises dans un établissement médical. Leur modèle inclut un modèle de programmation déterministe et un autre prenant en compte une demande stochastique. Ces modèles permettent de trouver le calendrier qui minimise les coûts et d'améliorer les commandes et les réceptions d'un point de vue pratique. Ce calendrier permet de remplacer celui qui est fait manuellement par les employés et qui est basé sur leur expérience. Dans le milieu de la santé, le but n'est pas de faire des bénéfices mais de réduire le plus possible les coûts, d'améliorer la qualité des soins, satisfaire le patient et de réduire le temps des soins en supprimant par exemple, les temps d'attente. C'est ce que Toussaint and Gerard [14] ont fait à ThedaCare, un regroupement de centres de soins dans le Wisconsin, en y appliquant les méthodes du lean management afin d'améliorer la qualité des services.

Un autre exemple d'amélioration de processus médical est l'optimisation de routes de distribution: ces routes peuvent être des routes de distribution de matériel comme dans notre

étude par exemple. Zhang, Fei [15] optimisent des routes logistiques d'urgence avec un algorithme suivant le comportement d'essaim de poissons. L'optimisation de ce type de routes est importante car elles garantissent la livraison d'assez de matériel pour délivrer des soins. De plus ces routes sont souvent faites manuellement à la dernière minute. Nous avons intégré une telle optimisation à notre modèle de simulation.

De Angelis, Felici [16], Baril, Gascon [17], Wurzer, Lorenz [18] et Ganesh, Ganesh [19] ont également travaillé sur les systèmes de santé et leurs études nous ont été utiles pour diagnostiquer le contexte de l'amélioration des services hospitaliers.

La dernière partie de cette revue de littérature se concentre sur des travaux qui concernent l'amélioration et l'optimisation d'opérations logistiques en dehors du secteur de la santé. Puisque le nombre de travaux dans la santé étant limité, nous avons étudié les autres domaines de la logistique pour en apprendre plus sur les méthodes d'amélioration des processus.

Jhawar, Garg [20] modélisent et évaluent des stratégies d'investissement en ressources humaines intervenant dans un département logistique. En développant de bonnes stratégies et en améliorant les performances, ils réduisent les coûts et augmentent le niveau de service qui permet aux activités de grandir. Un modèle dynamique les aide à déterminer quelle est la meilleure stratégie d'investissement en ressources humaines.

Comme pour l'amélioration des systèmes de santé, la simulation est l'une des meilleures solutions pour augmenter la performance de processus logistiques. Schubert, Moradi [21] développent un outil d'aide à la prise de décision basé sur des simulations pour planifier des processus. C'est très intéressant pour les planificateurs qui peuvent ainsi analyser et prendre les meilleures décisions. Aussi cet outil permet de diminuer le risque de défaillances dans les opérations en les décelant en amont. La simulation est également efficace pour évaluer et trouver les meilleures stratégies pour des réseaux de distribution de matériel. Cet article a été utile pour le développement de notre modèle comme outil d'aide à la prise de décision. Costa, Araujo [22] construisent le modèle de simulation d'un réseau de distribution régional d'essence par pipelines avec des contraintes de stockage. Le réseau est constitué de trois raffineries et de cinq terminaux localisés dans la région de Sao Paulo. De plus le modèle intègre les différents types d'essence. Les raffineries produisent sans interruption. Le processus de distribution de l'essence commence

aux raffineries. L'essence est ensuite envoyée aux terminaux puis aux clients locaux. Les différentes opérations de la chaîne logistique ont été simulées (transferts, livraisons, réceptions, ...) tout comme les différentes contraintes de ressources et de capacité. Plusieurs scénarios ont été simulés après validation du modèle. Dans ces scénarios il y a par exemple l'augmentation des capacités de certains terminaux, l'ajout de pipelines ou encore l'ajout de flexibilité sur certains pipelines. Le but de la simulation était de chercher l'investissement minimal qui permettait aux systèmes de répondre aux demandes. La simulation a été également l'occasion d'analyser le fonctionnement des routes logistiques. De plus les conclusions quant à l'utilisation d'une simulation sont bonnes puisque les solutions sont satisfaisantes. La simulation permet ici d'améliorer de manière précise le fonctionnement d'un réseau de distribution complexe. En conclusion, il est rappelé l'importance des données pour la construction du modèle et c'est pourquoi nous avons passé une grande partie de projet à collecter des données. Concernant la simulation de réseaux de distribution logistique, Botter, Mendes [23] utilisent la simulation pour réorganiser la distribution de marchandises. Le modèle de simulation aide à déterminer la meilleure manière de fonctionner pour ce qui des moyens de transport et de la localisation et la capacité des entrepôts. Dans ce modèle de simulation différents niveaux comme les niveaux de stock ou les quantités de production permettent la prise de décision. Cette étude nous montre à quel point, bien choisir ses indicateurs de performances est primordiale pour l'analyse des résultats.

Quant à eux, Costantino, Di Gravio [24] traitent d'un réseau de distribution d'oxygène médical. Ils décrivent l'étude puis la construction d'un modèle de simulation en vue d'une optimisation à ce qui peut être considéré comme une tournée de véhicule mais aussi de tests concernant certains scénarios. L'entreprise désire donc optimiser le fonctionnement de la distribution. En effet la partie distribution dans la logistique est sujette à une forte compétitivité entre les entreprises surtout lorsque le produit livré est contraignant de par sa nature. Au sommet du réseau on retrouve une usine principale qui fournit de l'oxygène à des usines secondaires reliées entre elles. Ces usines secondaires fournissent des clients. Ce réseau a pour zone géographique l'Italie. Ce réseau a fait l'objet d'un modèle de simulation. Les différentes composantes du réseau sont composées de cylindres pleins ou vides qui sont distribués. La modélisation des usines et de clients a été de fait de sorte qu'elle prenne uniquement en compte les activités qui influencent le fonctionnement de la distribution. Pour déterminer les routes optimales, un problème de tournée

de véhicule décomposé en un voyageur de commerce et un partitionnement a été intégré. Pour tirer des conclusions des résultats de la simulation, plusieurs indicateurs de performance ont été calculés comme le temps d'attente après commande pour un client ou la quantité transportée par les véhicules. Également, plusieurs scénarios ont été testés comme la fermeture de certaines usines. Ces calculs et tests ont été une aide dans la prise de décision pour l'entreprise. Holzapfel, Hubner [25] travaillent aussi sur la planification des routes de distribution dans le domaine de l'alimentaire. Ils déterminent un schéma répétitif pour la livraison du centre de distribution au magasin du vendeur au détail. Ce type de schémas ont pour but de minimiser le coût total et sont très avantageux lorsqu'ils impliquent le processus de distribution et les ressources du début, la réception au centre de distribution, à la fin, la livraison au magasin. La conclusion de leur article permet de déterminer une planification concrète qui sera plus efficace que les planifications obtenues avec d'autres méthodes. Jia, Wang [26] se concentrent sur l'optimisation des routes de distribution résolvant un problème de tournées de véhicules de la collecte chez le fournisseur à la livraison chez le client. Ils travaillent de façon inédite sur la résolution en temps réel du problème. Ils utilisent un modèle de simulation pour tester les routes obtenues.

Carson, Manivannan [27] et Alfieri and Brandimarte [28] ont aussi étudié le domaine de l'amélioration de systèmes de distribution logistique nous fournissant d'autres méthodes afin d'affiner notre choix.

Notre travail a contribué à la littérature par le fait qu'il utilise des méthodes prouvées comme étant efficaces et adaptées dans le contexte hospitalier pour traiter de plusieurs problèmes logistiques simultanément. En effet, comme le montrent les quelques études spécialisées dans l'amélioration du réseau logistique en milieu hospitalier, seule une partie du problème est généralement traitée. De plus, nous combinons l'utilisation de la simulation et de l'optimisation pour obtenir un outil d'aide à la décision qui peut servir de support aux établissements hospitaliers dans la détermination des meilleurs processus de collecte et de livraison.

## **CHAPITRE 3    ARTICLE 1 : MODELLING AND IMPROVING THE LOGISTIC DISTRIBUTION NETWORK OF A HOSPITAL**

### **3.1 Authors**

Gabriel Madelin and Nadia Lahrichi

Polytechnique Montreal, Montreal, Canada

[gabriel.madelin@polymtl.ca](mailto:gabriel.madelin@polymtl.ca), [nadia.lahrichi@polymtl.ca](mailto:nadia.lahrichi@polymtl.ca)

Computers & Industrial Engineering – Journal – Elsevier

### **3.2 Abstract**

The improvement of logistic processes is important for the efficiency of a system, and in health care systems such as hospitals the main logistic process is a distribution network. This article discusses using simulation to improve the distribution. We use the simulation model to test various scenarios and incorporate an optimization algorithm to find the best distribution routes. The results highlight concrete improvements that could be made. These are: the use of the same cart for different types of supplies to reduce the number of routes; the reduction of the distribution frequency for certain care units to reduce stock problems; and the use of optimized routes to reduce the transportation time.

### **3.3 Introduction**

Quebec's healthcare system has been evolving in the two years. Institutions are merging, and the major hospitals have built new pavilions. These reorganisations provide the opportunity to review and to improve. We focus on the impact on the logistics of the distribution network.

The tasks of the distribution network include warehouse-related processes and material delivery and collection. Landry and Philippe [1] discuss the importance of logistics for the efficiency of

healthcare. Improvement of the distribution network increases the quality of the care provided, a primary performance indicator. Moreover, Ruohonen and Nakari [7] show that the improvement of hospital logistics using discrete event simulation may reduce spending in this area by 30%. We consider the Jewish General Hospital (JGH), a major Montreal institution. In addition to being impacted by Quebec's healthcare changes, JGH has recently opened a large new pavilion.

The distribution network of a hospital generally consists of a warehouse and various destinations, mainly stockrooms in care units. The units need supplies and may have specimens or waste for collection. The warehouse is linked to a reception area where all the logistic processes start. Goods are received, unpacked, sorted, stored, loaded onto carts, and delivered. Many decisions must be made, e.g., how many resources (employees) of each type, how to schedule and deliver the goods, which items should go on which cart, how to manage the variable consumption in the units, and who should stack the shelves. To answer these questions, we use simulation and optimization techniques. These methods provide flexible, fast, and inexpensive ways to observe logistic processes, analyze their performance, model changes, and validate the models. In recent decades they have become powerful decision-making tools. AbuKhoua, Al-Jaroodi [3] show that simulation can help to build decision-making tools for healthcare supply chain management.

To the best of our knowledge, this paper is the first to study the logistics and distribution network as a whole using optimization and simulation; we are therefore closing an important gap in the literature. We use a real case to evaluate the impact of new processes and have developed a generic model that can be used in other institutions. We present a simulation model of the logistics of a hospital with an integrated optimization procedure to improve the distribution network. The simulation model explores different opportunities for improvement. To determine the best distribution schedule, we use a tabu search procedure solving the vehicle routing problem for distribution routes.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 describes the distribution network of a hospital and the associated logistic operations. Section 3 reviews studies of such networks. In Section 4 we focus on the JGH. Sections 5 and 6 introduce our model, giving the model



parameters and discussing the simulation of each step of the logistic process. Each parameter setting provides a unique scenario to analyze. Section 7 presents and analyzes the results, and Section 8 provides concluding remarks.

### **3.4 Logistics of the hospital distribution network**

A hospital distribution network generally consists of a warehouse and various destinations. The items distributed are supplies, samples for tests (specimens), and waste such as dirty laundry. Most of the destinations are care units. They consist of wards, a main desk, and stockrooms. The warehouse is composed of a main stockroom and smaller rooms such as carousels or mezzanines. It is linked to a reception area where all the logistic processes start. The reception consists of unloading docks and an area for sorting. Supplies can arrive all day (in our application most occur in the morning). Figure 3.1 illustrates the major processes of the distribution network: reception, checking (to ensure that the order is correct), storage, and finally distribution.

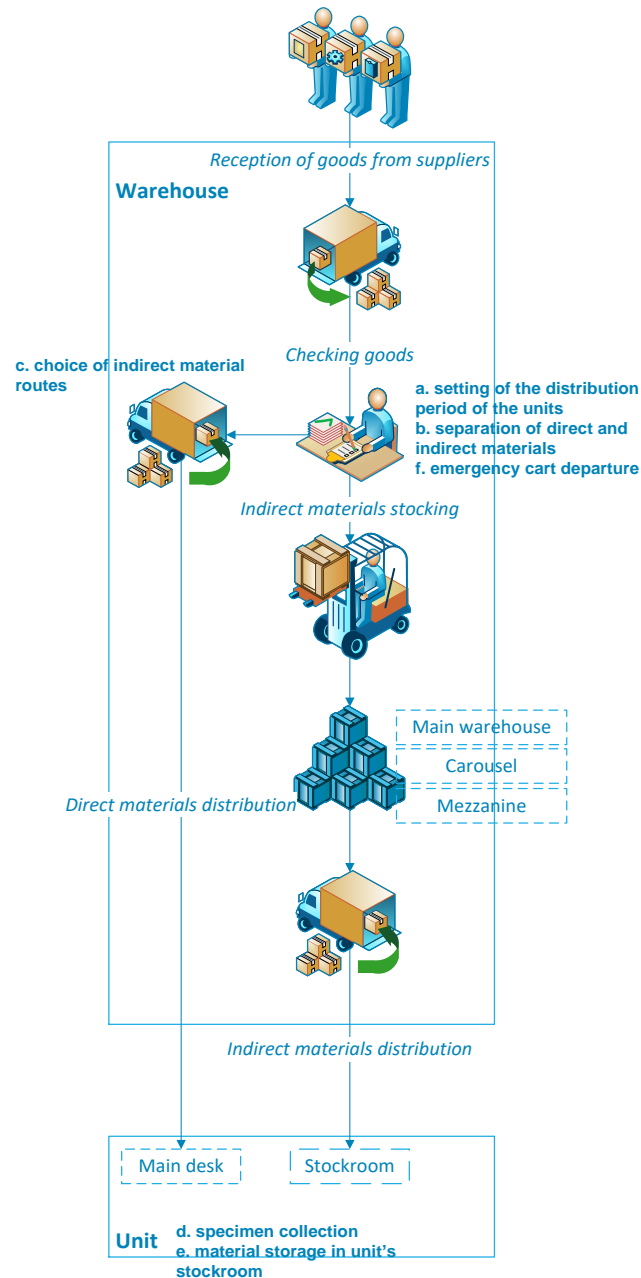


Figure 3.1 : Distribution process

The distribution process described consists of multiple activities at different decision levels. For example, determining if direct supplies should transit through the warehouse is a strategic decision as it impacts the size of the warehouse. Tactical decisions refer to the size of the

workforce and at the operational level we find the design of the distribution routes. In practice, such decisions are made sequentially.

The main goods are:

*Medical supplies:* These are used by staff to deliver care: syringes, dressings, gloves, etc. They comprise the bulk of the logistics flow. There are two types of such supplies: 1) indirect supplies are stored in the warehouse after reception and delivered to the units according to a schedule or upon request, and 2) direct supplies are delivered to the units upon reception.

*Other supplies:* These are items that are not received regularly, such as beds or computers.

*Food:* Meals for patients.

*Drugs:* Drugs are managed by the pharmacy department.

*Mail:* External mail can be received or sent, and internal mail is often exchanged between different units. Mail is collected and delivered on a daily basis.

*Laundry:* In large hospitals the laundry is collected, cleaned, and returned by a dedicated service.

*Waste:* Waste is sterilized, disposed of, or recycled.

In this paper, we focus on medical and other supplies; in some contexts, the other items are collected and distributed by a dedicated staff. We mainly consider decisions at the strategic and the operational level.

The distribution routes for indirect supplies are usually planned in advance. An employee collects supplies from the warehouse, takes a cart, and visits the unit or units on the route. When he arrives at a stockroom, he leaves the supplies at the entrance or stacks the shelves. He then returns to the warehouse.

The routes for direct supplies are usually determined by the employees. Supplies for units that are close to each other are placed on the same cart, and the employee chooses the order of the

deliveries. These goods are generally delivered to the main desk of the unit, and the employee needs to wait for a signature. Some routes may be dedicated to specific units (e.g., the operation rooms, food, drugs). These units may have special requirements for handling or unpacking, and we exclude them from our study. Finally, emergency deliveries are made when a unit has an urgent need for supplies.

There are many logistics employees, and each has a schedule (e.g., 6 a.m. to 4 p.m.). They do some or all of the following tasks: unloading, unpacking, filling carts with indirect and direct supplies, and storing supplies in the warehouse.

### **3.5 Literature review**

There has been little research into the overall distribution network as described in the previous section. Many studies, such as Botter, Mendes [23], consider only the supply distribution network. Simulation or optimization is used to determine the location of plants and warehouses and to evaluate transportation plans. Production rates may also be studied. To the best of our knowledge, all papers on healthcare distribution networks focus on the improvement of the reception/warehouse operations, the scheduling of the deliveries, or the design of the routes.

Su, Gammelgaard [6] study the improvement of hospital logistics processes without using optimization or simulation. After analyzing the logistics, they combine various innovative methods into an interactive environment for stakeholders to use to improve operations. In most cases, this approach is too expensive and too restrictive.

Several researchers have studied the human resources. Yanbing, Aihua [4] use discrete event simulation to analyze the patient flow and care processes. They do not include an optimization procedure. They focus on the organization and the size of the workforce. Various options are simulated and the best one is selected.

Jhawar, Garg [20] model and evaluate investment strategies for human resources; their goal is to reduce costs and increase the level of service. These improvements depend on the quality, qualifications, skills, and commitment of the employees. A simulation model is used to evaluate the performance of several options.

The scheduling of the distribution network has also received attention. Liu, Zhang [13] build an optimal schedule for the order and shipment of medical supplies in a health center. Their model has a deterministic component and a stochastic component that considers the stochastic demand. The resulting schedules replace the decision-making of an employee based on his/her experience; they are often more efficient because many of the customer requests are uncertain and time-varying. The authors emphasize that in healthcare logistics the goals are to reduce cost, improve service quality, satisfy the patient, and reduce care time by avoiding, for example, excessive waiting times. Holzapfel, Hubner [25] investigate the planning of distribution routes in the context of grocery retailing. They establish repeating delivery patterns from the distribution center to the retailer's shops that minimize the total costs. Such patterns are advantageous when they involve all the steps of the logistics processes, from the warehouse to the in-store operations (warehouse management, resource use, stock filling, and routes). The authors conclude that finding delivery patterns that reflect practical requirements can lead to significant cost savings compared to other scheduling methods.

Kergosien [5] solves the routing and planning problems of patient and product flows, focusing on the route optimization. He applies the model at the CHRU in Tours (a regional university hospital). He uses ILP modeling, tabu search, and a genetic algorithm to determine the best routes. The processes are not modeled, and the impacts of the routes are not evaluated. Costantino, Di Gravio [24] investigate the distribution of medical oxygen. They build a simulation model that includes the optimization of a vehicle routing problem, and they test various scenarios. To determine the best routes, they solve a traveling salesman problem and a clustering problem. The simulation and optimization model is used as a decision-making tool by the company.

Ruohonen and Nakari [7] study the improvement of hospital logistics using discrete event simulation. They achieve savings 30% of resources costs, which is significant since logistics expenses represent a considerable component of hospital expenses. Kammoun, Loukil [8] make a review about the use and the benefits of the discrete event simulation for hospital supply chain.

At a higher level, Lapierre and Ruiz [12] determine optimal supply schedules. Their goal is to prove that scheduling the logistics activities by coordinating purchasing and procurement can improve hospital supply systems. They develop a metaheuristic based on tabu search.

We contribute to the literature by solving problems at different decision levels simultaneously using the power of concurrent simulation and optimization.

### **3.6 The Jewish General Hospital case**

We based our simulation model on the JGH application and included additional processes discussed in the literature. We believe our model is suitable for most hospital distribution networks. We have done an extensive process review, gathered observations, and shadowed employees. We have also had discussions with logistics employees and meetings with material management employees. They helped us to understand the logistics processes (both in-house and external, since they have knowledge of current practices elsewhere) and the new challenges associated with the opening of the new pavilion. They also helped to validate the model and brainstorm new ideas.

## Data collection

To build the simulation model we used documents provided by the JGH logistics department. These are:

- *Logistics operations: Manpower requirement analysis*

This was produced in 2014 as part of a project for process improvement. It gives a full description of the logistics processes, with resources and times.

- *Description of resources*

This is a part of the previous document. It gives details of the logistics resources.

- *Summary of the purchase, consumption, and use of each product in each cost center and each period*

This specifies the products purchased by the units and the weekly average quantities. We extracted data from the three most recent reports, a period of 85 days. We suppose that the consumption and use of each product correspond to its purchase. We use a constant rate to determine the average consumption for each unit, each week and each hour.

- *Description of products*

This gives the details of the products that can be purchased by the units. It includes the code, the dimensions, and the quantity per care unit.

- *Table of distances*

This file gives the real traveling times needed for the route calculations.

For the process delay times we used the manpower requirement analysis together with the product summary data. This provided standardized times for each step per product.

### 3.7 Components of the Simulation model

The simulation model has three main blocks: the reception/warehouse, the cart filling/distribution, and the units. Resources are allocated to all the processes of these blocks.

#### Resources

In practice, the employees are versatile and can perform multiple tasks. The main tasks, as described earlier, are related to reception (including storage) and distribution (including preparing the carts and cross-docking). We use two types of resources in the model to reflect these two groups of tasks.

#### Reception and Warehouse

The reception of the products is the first step. It includes the process from the arrival of delivery trucks to the allocation of the supplies, either to storage (in the warehouse) or directly to carts. The simulation of the reception is a sequence of *Process* and *Decide* modules (in the terminology of *Arena*, the simulation tool we used). The *Process* modules are *delays*. They represent steps such as unpacking, sorting, moving, and storing. For each step we allocate a resource (reception employee).

#### Units

The unit is the final step of the distribution, and its simulation is simple. We include the arrival of a cart, the unloading of the supplies, and the departure of the cart for the next unit on its route or the warehouse. The *Process* module for unloading includes the unloading time and the administrative time. Consumption is an *event* that decreases the stock level of a product in a unit.



We specify an hourly consumption rate. This rate is a parameter,  $P_{cons}$ , and it reflects the variability of the consumption in each unit. This parameter is one of the most important in the model since it allows us to test how the simulation reacts to the varying consumption of products by care units and therefore indicates the robustness.

### **Cart filling/distribution**

This block is closely related to the routes. There are two types of routes: direct routes for direct supplies and planned routes for indirect supplies.

*Direct routes:* When a direct supply is detected at reception, a *Decide* module isolates it, and the product is loaded onto a cart (which may already be loaded with supplies for the same or a nearby destination). We include a delay for the loading. The delivery by a distribution employee will start when the cart is full or has spent sufficient time in the loading area.

*Planned routes:* We use a one-week horizon for the planning. We model this as a periodic vehicle routing problem, where a depot (the warehouse) must provide goods to a set of customers (the units) using a fixed number of vehicles (the carts). The objective is to minimize the total distance traveled. To solve this problem, we use a tabu search algorithm [29] that is flexible, versatile, and efficient. This procedure is called by the simulation at the beginning. We proceed as follows:

- 1- Extract the weekly quantity for all units to represent the demand (the quantity to deliver). If the supplies do not fit in a single cart, create a duplicate unit: the duplicate will receive a full cart daily, and the original unit will receive the additional deliveries. Calculate the frequency of the deliveries from the weekly demand (quantity delivered \* frequency = total quantity).
- 2- Run the tabu search procedure.
- 3- Retrieve the routes for the simulation. We group the routes by time period to simplify the distribution. For example, period 1 (7 a.m. to 9 a.m.) has two routes, one for unit 1 and one with the sequence (2, 3, 4).

This optimization procedure can be used to generate a set of routes at the beginning of the model or in a cycle where the values of the key performance indicators (KPIs) are used to adjust the routes. To do this, we adapt the demand of the units to obtain (for example) routes with fewer stock issues or to represent variability in demand. As illustrated in Figure 3.2, at the end of a replication, we launch the route optimization tool. It assesses the stock level in the stockrooms and modifies the demand accordingly (e.g., increasing the demand if the supply is low). This process iterates until the KPIs are acceptable or the termination criterion is reached.

Finally, the model has a collection feature so that distribution employees can collect specimens if necessary. The route will then visit the laboratory before returning to the warehouse.

### **Flow of simulation**

The trigger events are the start of each time period. If sufficient resources are available, we find the routes and the quantities to deliver from the tabu search results. The available carts are then assigned to routes, and we simulate the filling of the carts. This is a sequence of *Process* and *Decide* modules. The *Process* modules are *delays* and represent steps such as moving the cart to a carousel, collecting from the carousel, and collecting from the warehouse. The resource used for these tasks belongs to the reception group.

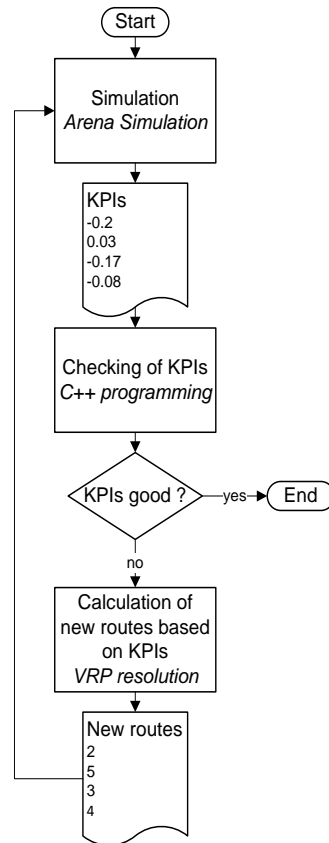


Figure 3.2 : Integration of the optimization procedure in the simulation

We then assign a distribution resource to the cart and start the delivery. If necessary, the resource will collect specimens or other products from the units and deliver them at the end of the route (before returning to the warehouse). This is simulated by a Process module. At the end of the route, we release the cart and reassign the resource; the cart is now available for the next time period. This process is illustrated in Figure 3.3. We introduce other trigger events to handle scenarios such as the use of emergency carts.

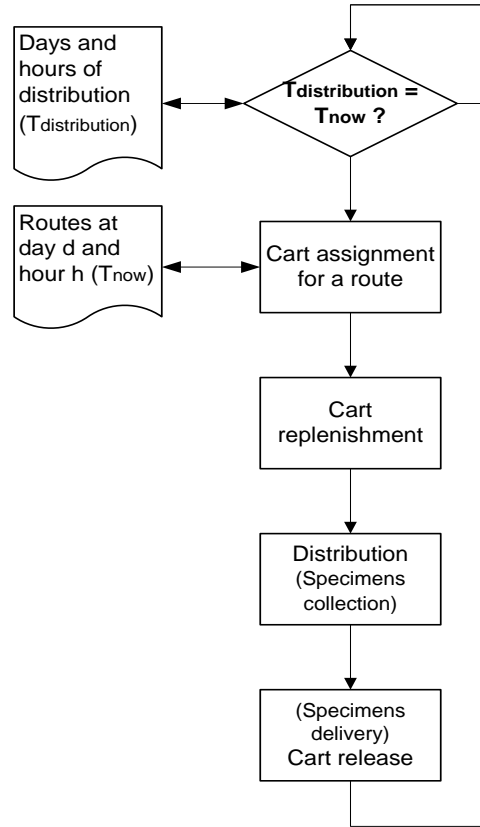


Figure 3.3 : Simulation of planned routes

### Key performance indicators

We use four KPIs to evaluate the performance of the simulation model and compare different scenarios.

#### *Stock levels in unit stockrooms*

The first KPI is based on the quantity of product  $p$  in unit  $u$  at time  $t$ ; it shows if there is a shortage or surplus of  $p$  at  $u$ :

$$KPI_{quantity}(p, u, t) = \frac{quantity(p, u, t)}{desired(p, u)} - 1$$

where *desired* is the desired quantity.

This value should be close to zero. If there is a surplus ( $KPI_{quantity}(p, u, t) > 0$ ), there may not be enough space in the stockroom for all the products. If there is a shortage ( $KPI_{quantity}(p, u, t) < 0$ ), there may be an impact on patient care. We impose a lower bound of four days of demand (57% of the weekly demand):  $KPI_{quantity}(p, u, t) > -0.43$ .

The second KPI indicates how often  $KPI_{quantity}$  is outside its bounds:

$$KPI_{nb\ false} = \sum_p \sum_u KPI_{false}(p, u)$$

$$\text{where } KPI_{false}(p, u) = \begin{cases} 0, & \text{if } \forall t \ KPI_{quantity}(p, u, t) \in [-0.43; 1.57] \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

We introduce a percentage based on this KPI by dividing it by the number of products multiplied by the number of units:

$$Stock\ issues = \frac{KPI_{nb\ false}}{\sum_p \sum_u 1}$$

### *Resource use*

The third KPI evaluates the use of the different types of resources:

$$KPI_{resources} = \frac{Idle\ time}{Total\ capacity\ of\ resources}$$

### *Cart loading and distribution times*

The fourth KPI is the time for cart loading and distribution for indirect routes. The loading time  $T_{cartloading}$  is the time between the trigger and the moment when the cart is ready to leave the warehouse. The distribution time  $T_{distribution}$  is the duration of a route: from the start of the loading time to the release of the cart at the warehouse. The waiting time  $T_{waiting}$  is the associated idle time:

$$T_{waiting} = T_{total} - T_{cart\ loading} - T_{distribution}$$

### 3.8 Tests of scenarios

The purpose of the simulation model is to test options for improving the distribution process. Each scenario is a combination of different parameters. We run the scenarios for a week (Monday 0h00 to Sunday 23h59) with multiple replications. The model is flexible: we could run tests for a single day or more than a week.

*Delivery frequency parameter:  $P_{peri}$  (Figure 1, process a)*

The delivery days for the carts depend on the frequency of delivery. As in the classical periodic vehicle routing problem, we determine delivery patterns. For example, if the frequency is twice a week, the deliveries can occur on Monday and Thursday or Tuesday and Friday. Table 3.1 summarizes the patterns used.

Table 3.1 : Delivery patterns

Delivery frequency	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
$P_{peri} = 2$	X			X	
		X			X
$P_{peri} = 3$	X		X		X
$P_{peri} = 4$	X	X	X		X
	X	X		X	X
	X		X	X	X

The delivery frequency parameter chooses between fewer deliveries, better maintenance of stock levels, or a compromise.

*Merging of direct and planned routes:  $P_{INDI}$  (Figure 1, process b)*

At the JGH, only 15% of the supplies are delivered directly. However, some units receive no indirect supplies. Currently, the direct and planned routes are performed separately; this scenario explores the benefits of merged routes.  $P_{INDI} = 1$  refers to the current process. When  $P_{INDI} = 2$  the direct supplies are allocated to a cart of a planned route close to the destination units.  $P_{INDI} = 3$  is the case where all supplies are indirect so the products are selected from the warehouse stock.

Gallego and Levi [30] show the effectiveness of using more direct material distribution. We explore this since emphasizing direct deliveries reduces stock levels. In a hospital context, high stock levels are preferred for safety reasons.

*Planning of direct routes:  $P_{DIOp}$  (Figure 1, process c)*

Currently, the distribution employee determines the sequence of delivery for direct supplies. In this scenario we explore the optimization of the direct routes. We use the tabu search algorithm to find the best route for each cart and compare it with the sequence determined by the employee.

*Shelf stacking parameter:  $P_{rang}$  (Figure 1, process e)*

Currently, the distribution process ends with the delivery of the products to the units (usually at the entrance of the stockroom); it is the responsibility of the unit to stack the shelves. The JGH logistics department asked us to evaluate the impact of giving this task to the distribution employees.

*Emergency cart parameter:  $P_{emer}$  (Figure 1, process f)*

An emergency cart fills gaps in the units' stockrooms. This event is triggered when the security level is reached. The stock is monitored throughout the simulation (in practice, the trigger event may be an order placed by the unit). This parameter determines whether or not emergency carts can be used.

Table 3.2 and 3.3 summarize respectively the scenario parameters and the scenarios.

## List of scenarios

- *Scenario 0*: Represents the processes currently used at the JGH. (Note: we use optimized routes and therefore do not reproduce the exact situation.)
- *Scenario 1*: Varying demand: stable, unstable, or very unstable.
- *Scenario 2*: Varying frequency of distribution.
- *Scenario 3*: Merging of direct and planned routes.
- *Scenario 4*: Use of emergency carts.
- *Scenario 5*: Shelf stacking by distribution employees.
- *Scenario 6*: Optimization of direct routes.

Table 3.2 : Scenario parameters

Parameter	Process alternative
P <sub>peri</sub>	distribution period for "small" units = 2
	distribution period for "small" units = 3
	distribution period for "small" units = 4
P <sub>INDI</sub>	indirect and direct materials distributed separately as today
	indirect and direct materials distributed on the same cart
	direct materials become indirect materials
P <sub>DIOP</sub>	when P <sub>DIOP</sub> = 0 direct materials routes are made randomly
	when P <sub>DIOP</sub> = 1 direct materials routes are optimized
P <sub>rang</sub>	logistics employees don't put materials in the shelves at the stockroom
	logistics employees put materials in the shelves at the stockroom
P <sub>cons</sub>	stable consumption
	unstable consumption
	very unstable consumption
P <sub>emer</sub>	non-use of emergency carts
	use of emergency carts



Table 3.3 : Scenarios

	Scenario						
	0	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{peri}}$	3	2/3	2/3/4	3	2	2	2
$P_{\text{INDI}}$	1	1/2	1	1/2/3	2	2	1
$P_{\text{cons}}$	1	1/2/3	1	1	1	1	1
$P_{\text{DIOP}}$	0	0	0	0	0	0	1
$P_{\text{rang}}$	0	0	0	0	0	1	0
$P_{\text{emer}}$	0	0	0	0	1	0	0

### 3.9 Experiments and analysis

We used Arena Simulation 14.7 (Rockwell Automation). We used the available modules and a single VBA block. This block handles all the simulation simplifications and the external communication to launch the scheduling tool. This tool is coded in C++, and we use the executable file directly. The tests are run on a laptop with an Intel Pentium CPU, 2.30 GHz.

#### Model reduction for the simulation

For the simulation, we had to reduce the number of products and units. JGH has about 776 delivery points, and many of them use just a few products. We selected 56 units that represent 58% of the total volume of products used. More than 10 000 products are used at JGH, and some are used less than once a year. We selected 1 500 that account for 99.9% of the total volume of products: 593 indirect supplies and 907 direct supplies. Indirect supplies represent roughly 85% of the total.

The large number of products makes the simulation excessively slow. The VBA commands take more than 5 h versus less than 20 min when running with approximately 10% of the types of product. We first determine if we can use a smaller number of products and obtain the same

conclusions. To do this, we align the resources with the number of products delivered and perform tests. Figure 3.4 and 3.5 illustrate the results, showing that there is a constant relationship between the values of the KPIs regardless of the number of products used (i.e., whether or not there is an issue with the resource use) and that we can use a reduced model.

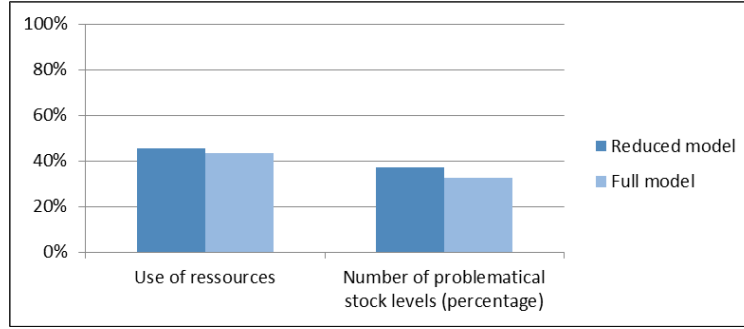


Figure 3.4 : Values of main KPIs by size of model

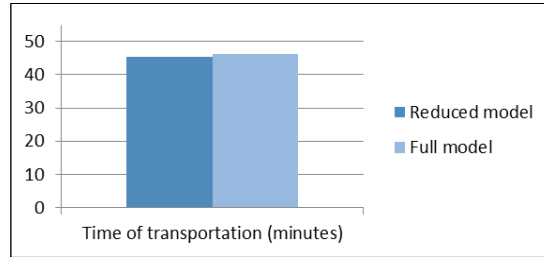


Figure 3.5 : Values of transportation time by size of model

### Scenario 1: Consumption variability

The consumption is calculated per hour. When it increases, the stock level may drop suddenly. We first test the robustness of the planned routes when the hourly consumption varie ( $X_0 = qh^*(p, u) \sim qh(p, u)$ )  $u$  may follow a normal distribution or a Poisson distribution. The hourly consumption becomes:  $X_1 = qh^*(p, u) \sim qh(p, u) * N(1, 0.25)$  or  $X_2 = qh^*(p, u) \sim qh(p, u) * Poi(1.015)$  where  $qh(p, u)$  is the initial hourly consumption for product  $p$  at unit  $u$  and  $qh^*(p, u)$  the random hourly consumption.

$$X_1 = qh^*(p, u) \sim qh(p, u) * N(1, 0.25)$$

We run 40 replications for each probability distribution. The KPI related to the use of the resources do not show major variability. In fact, confidence intervals ( $\alpha = 0.05$ ) are narrow:

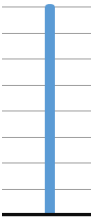
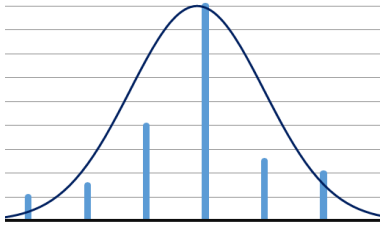
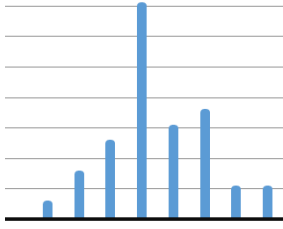
-  $X_0$  : [46.71%, 46.85%]

-  $X_1$  : [46.66%, 46.78%]

-  $X_2$  : [46.63%, 46.77%]

On the other hand, problematic stock levels react more directly. Table 3.4 shows stable results when comparing constant consumption and normal distribution. The size of confidence interval is narrow: respectively 0.09 % and 0.7 %. We observe more variability for the Poisson distribution but the confidence interval stays narrow: 1.88 %.

Table 3.4 : Variability of the model

	<b>X<sub>0</sub></b>	<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>
<b>Average</b>	37.5 %	34.4 %	32.1 %
<b>Variance</b>	0.00000207	0.000129	0.000923
<b>Min</b>	37.3 %	32,0 %	25.01 %
<b>Max</b>	37.8 %	36,7 %	38.6 %
<b>Confidence interval</b> <b>(<math>\alpha = 0.05</math>)</b>	[37.49%, 37.58%]	[34.01%, 34.71%]	[31.11%, 32.99%]
<b>Distribution</b>			

In next parts, results are presented with single values and not with intervals because the variability of our model is low.

The second test is related to the robustness of the planned routes. We first determine optimal routes (using replications). As shown in Figure 3.2, the routes depend on the demand (which is based on the stock levels and the hourly consumption of different products in different units). The parameter  $P_{cons}$  multiplies in average the hourly consumption by his value. Table 3.5 shows that when the consumption is very unstable the number of problematical stock levels increases too much. But this extreme scenario rarely happens. But when the consumption is unstable (this extreme scenario is more likely) the number of problematical stock levels increases moderately (7,2%). We conclude that we are able to design routes that are stable and do not impact the stock levels.

Table 3.5 : Stock level issues (in %)

	<b>P_cons = 1 (stable)</b>	<b>P_cons = 2 (unstable)</b>	<b>P_cons = 3 (very unstable)</b>
P_peri = 3 P_INDI = 1	32,9%	40,4%	76,2%
P_peri = 2 P_INDI = 2	32,0%	38,7%	76,1%
Average	32,4%	39,6%	76,2%

### Scenarios 2 and 3

We present the results for these two scenarios simultaneously. Table 3.6 shows the results for the main KPIs (resource use and number of problematical stock levels in unit stockrooms) for the scenarios tested. A delivery frequency of three or four has the same impact on the stock levels. Only a frequency of two significantly reduces the stock issues. The first line in Table 3.6 shows for example an increase of 3% in the stock issues when the frequency increases and direct and indirect supplies are distributed separately. For the other two distribution options, the increase is 3%. The KPIs for resource use show the same pattern.

Table 3.6 : Main KPI results

		Number of problematical stock levels (percentage)			Use of resources		
		Scénario 2			Scénario 2		
		distribution period for "small" units = 2	distribution period for "small" units = 3	distribution period for "small" units = 4	distribution period for "small" units = 2	distribution period for "small" units = 3	distribution period for "small" units = 4
Scénario 3	indirect and direct materials distributed separately as today	34,0%	37,0%	35,0%	45,2%	45,3%	46,5%
	indirect and direct materials distributed on the same cart	36,1%	39,1%	38,0%	34,8%	35,2%	36,7%
	direct materials become indirect materials	36,2%	39,4%	38,0%	42,6%	42,6%	43%

Figure 3.6 shows the resource use for different distribution frequencies. It indicates that increasing the frequency of the deliveries increases the use of the resources by less than 1%. When the frequency is low, there are fewer routes (the carts are more full).

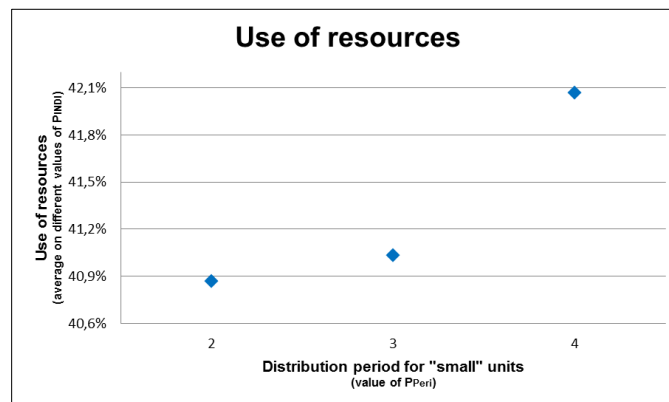


Figure 3.6 : Average resource use for different distribution frequencies

Figure 3.7 shows the number of problematical stock levels. It is minimal when the frequency of distribution is the lowest.

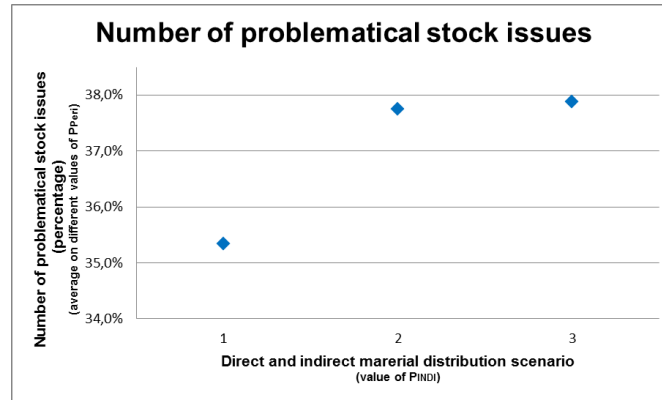


Figure 3.7 : Average number of problematic stock levels for different distribution frequencies

These results are confirmed by the results presented in the Table 3.7. They are results obtained with a demand which follows a normal distribution (see Scenario 1: Consumption variability). We can make the same conclusions than before with these other results : the use of resources is the lowest when the frequency of distribution is the lowest and indirect and direct materials are distributed on the same carts.

Table 3.7 : Use of resources with a demand following a normal distribution

		Use of resources		
		Scénario 2		
		distribution period for "small" units = 2	distribution period for "small" units = 3	distribution period for "small" units = 4
Scénario 3	indirect and direct materials distributed separately as today	$\bar{X} = 45,8\%$ $CI(\alpha=0,05) = [45,8\%;46\%]$	$\bar{X} = 46,7\%$ $CI(\alpha=0,05) = [46,7\%;46,9\%]$	$\bar{X} = 47,3\%$ $CI(\alpha=0,05) = [47,3\%;47,9\%]$
	indirect and direct materials distributed on the same cart	$\bar{X} = 35,7\%$ $CI(\alpha=0,05) = [35,7\%;35,8\%]$	$\bar{X} = 37\%$ $CI(\alpha=0,05) = [37\%;37,3\%]$	$\bar{X} = 37,7\%$ $CI(\alpha=0,05) = [37,7\%;38,4\%]$
	direct materials become indirect materials	$\bar{X} = 44,1\%$ $CI(\alpha=0,05) = [44,1\%;44,9\%]$	$\bar{X} = 45,4\%$ $CI(\alpha=0,05) = [45,4\%;45,8\%]$	$\bar{X} = 46,6\%$ $CI(\alpha=0,05) = [46,6\%;47,3\%]$

Table 3.8 : Loading and transportation time results

		Total time for loading and transportation of indirect material carts (minutes)			Total time for transportation of indirect material carts (percentage)		
		Scénario 2			Scénario 2		
		distribution period for "small" units = 2	distribution period for "small" units = 3	distribution period for "small" units = 4	distribution period for "small" units = 2	distribution period for "small" units = 3	distribution period for "small" units = 4
Scénario 3	indirect and direct materials distributed separately as today	22	22	24	49%	50%	52%
	indirect and direct materials distributed on the same cart	22	23	24	56%	58%	58%
	direct materials become indirect materials	21	23	23	52%	54%	55%

Table 3.7 also shows that two deliveries per week seems interesting. From an operational point of view, it appears appropriate to have a low distribution frequency for small units. Table 3.6 shows that the transportation time KPI is stable whether or not we merge the direct and planned routes: the gap between the maximum and minimum values is 3 minutes. The lowest value is obtained when frequency of distribution is the lowest. Finally, Figure 3.8 shows how the resource use is low when indirect and direct material routes are merged proving the efficiency of this alternative.

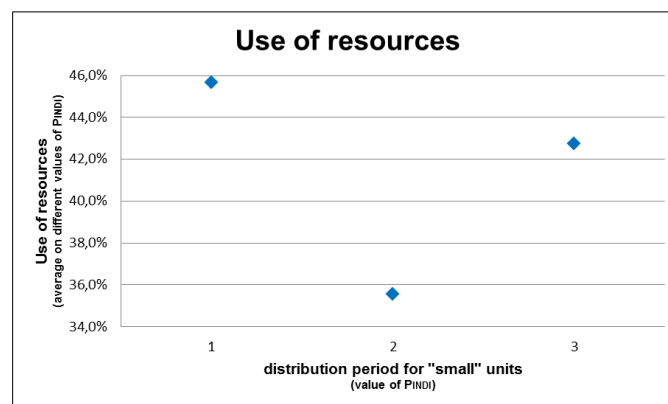


Figure 3.8 : Average resource use for different distribution scenarios

We now consider how the stock issues change according the number of iterations showing the performance of the route optimization tool. First, we observe that for the different scenarios, the performance (in terms of the KPIs) significantly increases after the first replication. Figure 3.9 shows that after three replications the solutions (in terms of the stock issues) are stable. Figure 3.9 shows the percentage of stock issues according replication number.

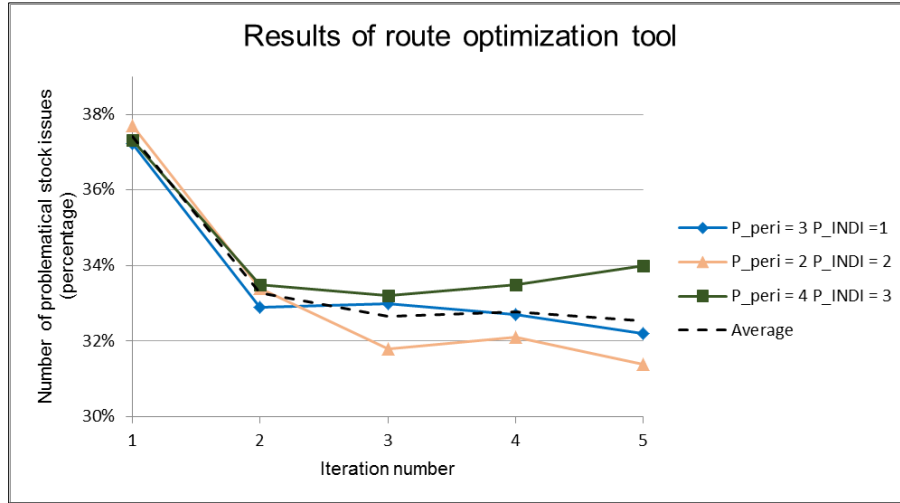


Figure 3.9 : Results of route optimization tool

#### Scenario 4: Use of emergency carts

We tested the use of emergency carts all day (6 a.m. to 4:30 p.m.) and by period. We divided the day into three periods (6 a.m. to 9:30 a.m., 9:30 a.m. to 1 p.m., and 1 p.m. to 4:30 p.m.). Figure 3.10 presents the results.



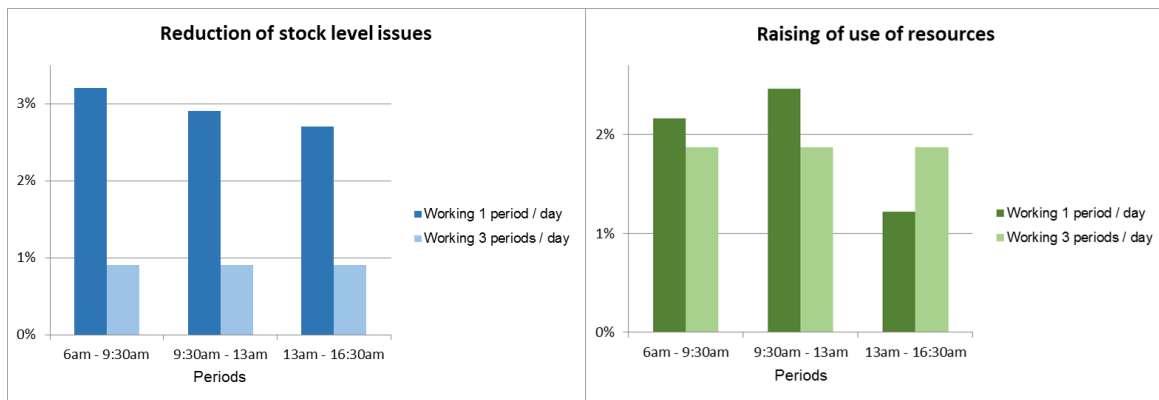


Figure 3.10 : Results of emergency cart tests

The emergency carts clearly have an impact. The reduction in the stock issues is about 2%, and the resource use increases by about 2%. The use of emergency carts will probably lead to employees working overtime. We also observe that using the emergency carts for one period has a greater impact on the stock issues, and period 1 has the greatest impact.

### Scenario 5: Shelf stacking by distribution employees

When the distribution employees stack the stockroom shelves, their utilization rate increases by 0.1% (depends on the value of shelf stacking times). No other KPI is affected. This option could be interesting at the JGH: this task is currently performed by nurses, reducing the time available for patient care.

### Scenario 6: Optimization of direct routes

We now analyze the KPIs and durations of the direct routes. The direct supplies are grouped by destination zone, e.g., distant pavilions are grouped together (see Table 3.8). We optimized the routes separately for each zone. This reduces the transportation time by 5.7%. This reduction impacts lowly the resource use. Figure 3.11 shows results.

Table 3.9 : Details of JGH zones

Zone 1 15 units	Zone 2 13 units	Zone 3 16 units	Zone 4 6 units
EMERGENCY	TEST CENTRE	6W	DIALYSIS
ICU	CIHR NNSF	6NW	RADIATION ONCOLOGY
K8 SURGERY	RESEARCH LAB FUND	8W	PATHOLOGY
K7 INTERNAL MEDICINE	EORTC	CORELAB	PERITONEAL DIALYSIS
K9 SURGERY	STOMOTHERAPIE	ANGIOGRAPHY	GASTROSCOPIE
K6 INTERNAL MEDICINE	CRU MAIN	4M	RADIATION THERAPY
CVU	ONCOLOGY	3NW	
CVICU	OPHTHALMOLOGY	5W	
NICU	CIHR WITCHER	6N	
K10 NEUROSURGERY	CIHR WUCHEM	PAVK ES	
PACU	UROLOGY	PROJECT MANAGEMENT	
ODS	CIHR SARAGOV	E4	
MEDICAL DAY HOSPITAL	PHARMACY PATIENTS	BIOMEDICAL ENGINEERING	
BLOOD BANK		SPECIALITY LABS	
RESPIRATORY		FACILITIES OPERATION	
		CT SCAN	

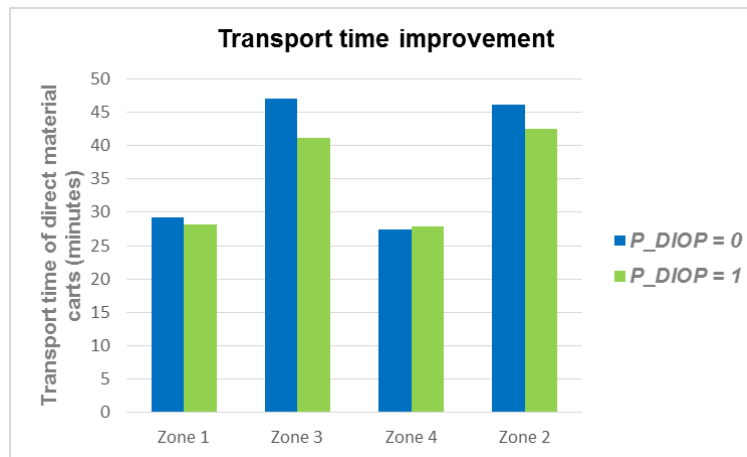


Figure 3.11 : Transportation time improvement by zone

### 3.10 Conclusions

We have discussed the use of simulation and optimization to improve the distribution network of a hospital. The model includes detailed processes and considers the main components of the network: supplies, reception, warehouse, and units. We have modeled both current processes and possible alternatives, and the model is based on both observation and documentation. We integrate an optimization procedure within the model to determine the best distribution routes. This combination of simulation and optimization leads to a flexible model that can test various scenarios. Encouraging results have been obtained.

We make the following suggestions. First, direct and indirect routes should be merged where possible. This can significantly reduce the resource use and the number of routes. Second, optimized routes should be used because they reduce the travel time and do not require the employee to determine the delivery sequence. Reducing the number of deliveries to units with a low weekly consumption helps reduce stock issues. The optimization results are stable enough to be used.

These conclusions can be applied to any similar distribution network. We could extend the tool to networks with similar components in other environments. The current simulation model could be directly used by a logistics department, in particular to explore the impact of changing consumption.

Future work could develop a user-friendly interface with animations, making it easier to set the parameters and interpret the output. Including more products would make the model more practical. The result would be an effective decision-making and planning tool for logistics departments.

### 3.11 References

1. Landry, S. and R. Philippe, *How Logistics Can Service Healthcare*. Supply Chain Forum: An International Journal, 2004. **5**(2): p. 24-30.
3. AbuKhoussa, E., et al., *Simulation and Modeling Efforts to Support Decision Making in Healthcare Supply Chain Management*. The Scientific World Journal, 2014. **2014**: p. 354246.
4. Yanbing, J., W. Aihua, and Z. Fengchun. *Analysis of one hospital using simulation*. in *2006 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, 21-23 June 2006*. 2006. Piscataway, NJ, USA: IEEE.
5. Kergosien, Y., *Vehicle routing algorithms to optimize product flow and patients flow in a hospital complex*. 2010, Université François Rabelais - Tours.
6. Su, S.I.I., B. Gammelgaard, and S.L. Yang, *Logistics innovation process revisited: insights from a hospital case study*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2011. **41**(6): p. 577-600.
7. Ruohonen, T. and P. Nakari, *Improving material logistics in a hospital environment using discrete-event simulation*. Modelling and Simulation 2013 - The European Simulation and Modelling Conference 2013, 2013: p. 299-303.
8. Kammoun, A., T. Loukil, and W. Hachicha. *The use of discrete event simulation in hospital supply chain management*. in *2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*. 2014.
12. Lapierre, S.D. and A.B. Ruiz, *Scheduling logistic activities to improve hospital supply systems*. Computers & Operations Research, 2007. **34**(3): p. 624-641.
13. Liu, M., L. Zhang, and Z. Zhang, *Optimal scheduling of logistical support for medical resources order and shipment in community health service centers*. Journal of Industrial Engineering and Management, 2015. **8**(5): p. 1362-1379.
24. Costantino, F., G. Di Gravio, and M. Tronci. *Simulation model of the logistic distribution in a medical oxygen supply chain*. in *19th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2005, June 1, 2005 - June 4, 2005*. 2005. Riga, Latvia: European Council for Modelling and Simulation.
25. Holzapfel, A., et al., *Delivery pattern and transportation planning in grocery retailing*. European Journal of Operational Research, 2016. **252**(1): p. 54-68.
29. Lahrichi, N., et al., *Strategic analysis of the dairy transportation problem*. Journal of the Operational Research Society, 2015. **66**(1): p. 44-56.
30. Gallego, G. and D.S. Levi, *On the effectiveness of direct shipping strategy for the one-warehouse multi-retailer <i>R</i>-systems*. Manage. Sci., 1990. **36**(2): p. 240-243.

## CHAPITRE 4 COMPLÉMENTS

### 4.1 Choix du logiciel *Arena*

Pour mon travail j'ai utilisé *Arena* Simulation, un logiciel de simulation à événements discrets, développé par l'entreprise Rockwell Automation. Ce logiciel n'est pas le seul outil de simulation existant même s'il est très fréquemment utilisé, notamment par de grandes entreprises. Pour la simulation à événements discrets on peut également citer Witness (Lanner Group), Simul8 (Simul8 Corporation) et AnyLogic (XJ Technologies) [31]. Nous allons maintenant justifier notre choix.

Tout d'abord *Arena* présente le premier avantage de couvrir de larges champs dans une entreprise, de la prise de décision stratégique à l'amélioration de la planification opérationnelle [32]. *Arena*, tout comme SDI Supply Chain Builder, cité plus haut, présente également un autre avantage non négligeable : un environnement facile à utiliser qui permet une bonne visibilité et une bonne compréhension de la modélisation. Le système de blocks est extrêmement complet car il permet de programmer à différents niveaux : programmation par blocks généraux programmés ou à l'aide blocks plus simples. On peut réaliser des modélisations très avancées avec des modèles, des sous modèles et des blocks.

Par ailleurs *Arena* possède une grande flexibilité, qui lui permet d'être programmé par un code extérieur dans un autre langage que SIMAN, le langage de programmation de *Arena*. En effet deux technologies ont été incorporées à *Arena* : Active X Automation et Visual Basic for Applications (VBA). Le premier est une application Microsoft qui permet à d'autres applications de communiquer avec *Arena*. Pour VBA, une bibliothèque d'objets a été construite et elle permet de programmer entièrement une simulation *Arena* en VBA [33] . Cette fonctionnalité a été grandement utile dans notre travail et son utilisation est détaillée plus bas.

Il est possible de créer des simulations avec certains langages de programmations plutôt que d'utiliser un logiciel comme *Arena* ou un autre cité plus haut, utilisant des modules préprogrammés avec son propre langage. Par exemple le langage de programmation C permet de

développer des modèles de simulation. Wallace and Saltzman [34] proposent une comparaison des deux méthodes de simulation. Leurs résultats sont présentés dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Comparaison de Arena et C [34]

<b>Evaluation Criteria</b>	<b>C Program</b>	<b>Arena Model</b>
2. System Run Times		
(a) 20-agent run	2 seconds	21 seconds
(b) 90-agent run	2 seconds	30 seconds
(c) 200-agent run	3 seconds	165 seconds
3. Skills Required	Advanced	Advanced
4. Ease of Construction or Implementation	Tedious statistical analysis	Built-in statistics
		Challenge to implement LIAR policy
5. Very Flexible?	Yes	Yes
6. Very Scalable?	Yes	Yes, but adding new agent subgroup is nontrivial
7. Costs		
(a) Tool	Cheap	Very expensive
(b) Modeler's Time	Few months	Few weeks
8. Code Maintenance	Challenging	Commercially
9. Saleability	Challenging	Animation and built-in flow diagram are a plus

De ce tableau, on peut tirer que les principaux avantages de l'utilisation de *Arena* par rapport à l'utilisation d'un langage de programmation comme le langage C sont la rapidité de mise en œuvre d'un modèle, la facilité de manipulation, la facilité de récupération du modèle dans le but d'être utilisé par une autre personne et la très grande flexibilité.

## 4.2 Compléments sur la méthode

La figure 4.1 résume par un schéma en vue simplifiée la méthode développée.

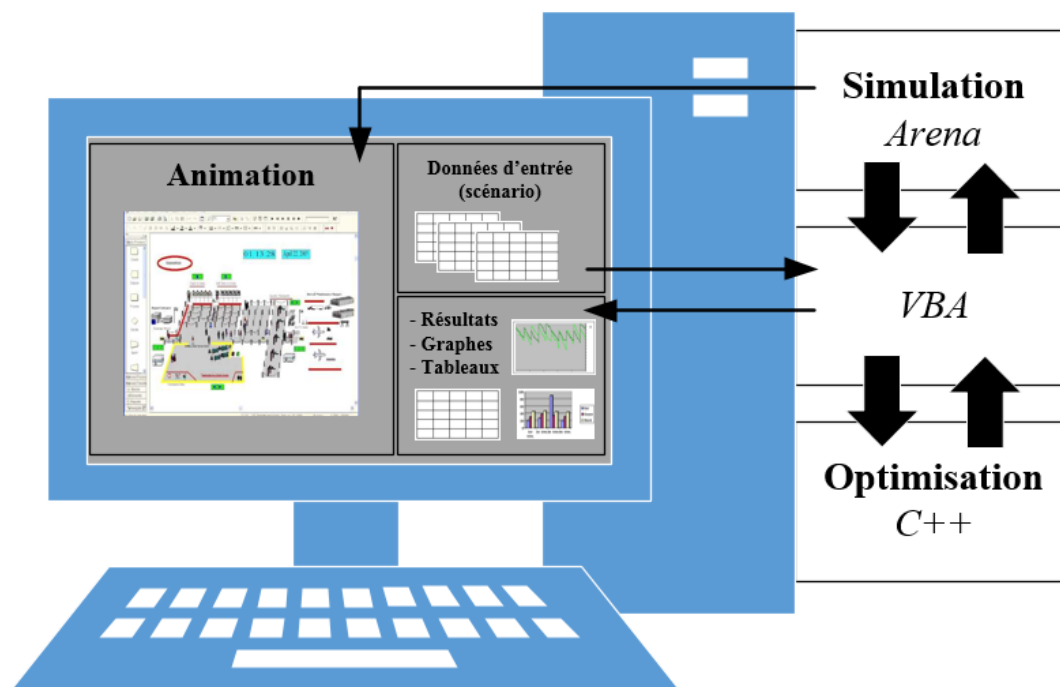


Figure 4.1 : Vue d'ensemble de la méthode

On y remarque que la méthode permet à l'utilisateur d'interagir avec le modèle de simulation. D'une part, parce qu'il peut régler les données d'entrée. En réglant une combinaison de paramètres, il va pouvoir choisir le scénario qu'il veut simuler. D'autre part il peut suivre l'évolution d'une simulation en cours avec les différents éléments d'animation. Enfin il peut récupérer et analyser les résultats à la fin de chaque simulation. Un classeur Excel permet de comparer les différents scénarios.

Une capture de notre modèle de simulation est en annexe de ce mémoire. Comme évoqué précédemment, une bibliothèque VBA pour SIMAN existe et permet de réaliser certaines parties de la simulation via des macros. On s'est beaucoup servie de cette fonctionnalité afin :

- D'affecter différentes valeurs à des variables et des attributs en grands nombres ;

- De récupérer des données stockées à l'extérieur du modèle de simulation dans des fichiers textes ;
- De lancer la procédure d'optimisation. La commande est présentée dans la figure qui suit ;

```
Shell "C:\Users\Gabriel\Documents\Optrial\Optrial3\Debug\Optrial3.exe"
```

Figure 4.2 : Commande VBA de lancement de la procédure d'optimisation

- De relancer si nécessaire une itération après la fin de la procédure d'optimisation.

Ainsi en plus d'aider la simulation, le code VBA tient un important rôle dans la communication avec l'extérieur de *Arena*. Cette communication est basée sur la récupération d'information à l'aide de fichiers textes. La procédure d'optimisation est composée de deux parties. Une première partie permet de lire les informations de la dernière itération de la simulation (numéro, valeurs des KPIs et valeurs des paramètres) et de modifier l'entrée la deuxième partie de la procédure d'optimisation suivant les valeurs des KPIs. La deuxième partie est un code résolvant un problème de tournée de véhicule (*Vehicle Routing Problem*) qui optimise la solution à l'aide d'une recherche taboue pour déterminer les meilleures routes pour la prochaine itération. Ce code a été développé dans le cadre de la rédaction d'un article de recherche sur l'optimisation des tournées de véhicules de livraison de produits de laitiers. Une description générale de la méthode est présentée avec la figure 4.3.



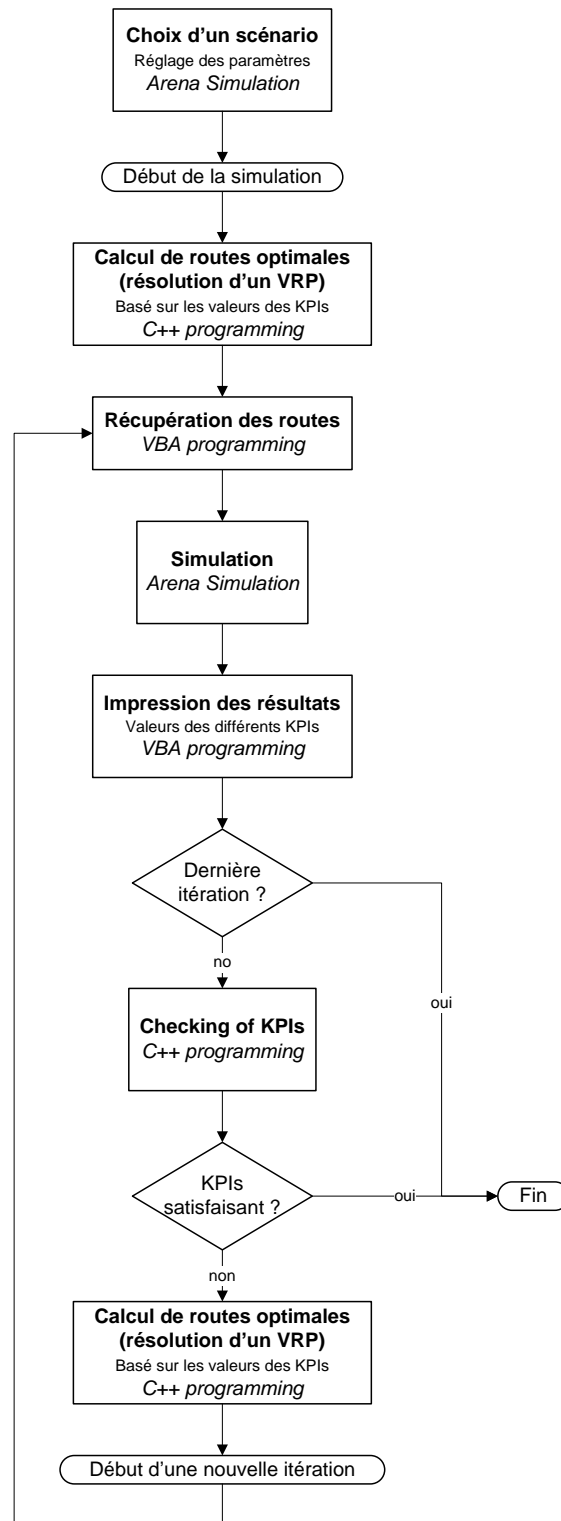


Figure 4.3 : Fonctionnement général de la méthode

## CHAPITRE 5 DISCUSSION GÉNÉRALE

Nous allons, dans cette partie, discuter des résultats présentés dans l'article que nous avons écrit ainsi que du résultat global de notre travail par rapport à notre objectif premier et par rapport à la revue de littérature que nous avons effectué.

Comme il a été présenté dans l'introduction la simulation est l'une des meilleures méthodes pour l'amélioration de processus logistiques en donnant par exemple l'opportunité de tester différents changements dans ces processus. Notre étude s'inscrit bien dans cette idée, justifiant au passage le choix de la simulation. En effet, avec les résultats de nos tests, nous sommes capables de donner des conclusions générales pour améliorer la logistique en milieu hospitalier. Ces conclusions générales découlent de la possibilité de tester différentes stratégies (comme la fréquence de distribution) et de construire des routes assez facilement. De plus notre étude rejoint les papiers présentés dans la revue de littérature. En effet nous avons présenté différents travaux de recherche ayant pour but l'amélioration de processus, d'un part logistiques, d'autre part dans le domaine des systèmes de santé. Notre étude s'inscrit dans ces deux catégories proposant l'amélioration des opérations logistiques en milieu hospitalier incluant la distribution du matériel. De plus notre étude présente une méthode originale constituée d'un modèle de simulation paramétrable pour le test de différents scénarios et d'une procédure d'optimisation pour la planification de routes de distribution.

Pour ce qui est des résultats obtenus, tout d'abord ils sont logiques. En effet ils sont en accord avec ceux que nous avons prédits. De plus ces résultats peuvent aboutir à des conclusions qui pourrait être utilisables. Cependant notre travail de recherche et nos résultats comportent certaines limites théoriques et pratiques. Premièrement, nous avons pris en compte une description précise et d'un réseau de distribution de réseau logistique qui n'est peut-être pas applicable partout. Ensuite dans la construction de notre modèle conceptuel nous avons simplifié les processus (suppression comme les processus liés au bloc opératoire et regroupement de processus comme certaines étapes administratives à la réception). Enfin, le choix des

améliorations testées peut être considéré comme incomplet et non exhaustif. D'un point de vue pratique, Pour la plupart des résultats, du fait que le modèle est incomplet et que l'on a manqué de certaines données, c'est surtout des directives que l'on a obtenu des suites des comparaisons entre les différents scénarios et moins des résultats chiffrés. Par exemple, tel que le modèle est fait au moment de notre étude et de nos expérimentations, les routes de distribution optimisées ne peuvent être utilisées telles quelles, car plusieurs unités sont manquantes et une partie des produits n'a pas été prise en compte. De plus les performances de la méthode utilisée sont limitées.

Des recherches futures seraient utiles pour déterminer et développer une méthode avec de meilleures performances bien que les performances de notre méthode puissent être suffisantes. Elles pourraient également être utiles pour le développement d'une interface facile d'utilisation avec des animations, permettant des manipulations en entrée (réglage des paramètres) et en sortie (récupération des résultats et analyse) plus pratiques. Ces travaux de recherches permettraient de développer un outil d'aide à la prise de décision efficace et pratique pour des départements logistiques.

## CHAPITRE 6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce mémoire présente une utilisation de la simulation afin d'améliorer le réseau de distribution logistique d'un hôpital. En effet, après avoir présenté le fonctionnement général de la logistique en milieu hospitalier incluant un réseau de distribution de différents types de matériels, nous avons décrit le développement d'un modèle de simulation. Ce dernier, dans le but de proposer de possibles améliorations, a été doté d'un certain nombre de paramètres qui donnent la possibilité de tester différents scénarios pour les processus logistiques mais aussi d'une procédure d'optimisation qui fournit un planning des routes de distribution optimales pour une période donnée. La modélisation couplée à une optimisation est bien adaptée à notre problème avec une grande flexibilité pour la simulation et le test de toutes sortes de scénarios. Les résultats obtenus sont intéressants mais incomplets. Ainsi pour une application réelle, les principales conclusions découlant de nos résultats pourraient servir. Cependant à des fins pratiques plus concrètes il faudrait revoir une partie de la conception et des développements du modèle, comme c'est indiqué avec les limites et les axes de développement de la discussion générale.

Pour ce qui est des routes de distribution du matériel direct et celles du matériel indirect, elles doivent être le plus possible fusionnées. Utiliser un même chariot pour le matériel direct et indirect destinés à la même unité, peut de façon significative réduire l'utilisation des ressources car cela réduit le nombre total de routes effectuées. Au moins, dans le cas où les deux types de routes ne seraient pas du tout fusionnés, nous avons observé que l'utilisation de routes optimisées pour les routes de distribution de matériel direct, qui sont généralement faites manuellement et à la dernière minute par les employés, permet de réduire la durée de ces routes. Enfin la réduction du nombre de livraisons aux unités avec des consommations hebdomadaires basses aide à réduire le nombre de problèmes dans les stocks. Concernant l'optimisation du planning des routes de distribution, nous avons vu que celles obtenues sont suffisamment stables pour être utilisées dans le cas où le modèle serait complété avec les éléments manquants. Dans le cas d'utilisation de routes planifiées il est judicieux d'utiliser des chariots de matériel d'urgence.

Ainsi, avec la réalisation des axes de développements proposés, ces conclusions pourraient être utilisées par tout type de réseau de distribution logistique hospitalier similaire à celui décrit dans

notre article. On peut étendre cette utilisation à des réseaux de distribution qui ne sont pas dans le milieu hospitalier dans le cas où ils respectent les grandes idées de celui décrit dans notre étude. De plus le modèle de simulation est suffisamment flexible pour être modifié et s'adapter à des cas proches du notre. Cependant comme c'est écrit dans la discussion générale, notre travail a des limites mais qui peuvent tout de même être comblées par de nouvelles voies de recherche. De plus l'étude peut être très aisément étendue à un autre exemple : l'amélioration des routes logistiques de distribution entre les différents établissements d'un CISSS, le Centre Intégré Universitaire de Santé et Services Sociaux (CIUSS) du Centre-Ouest-de-l'Île-de-Montréal, avec la création d'un entrepôt unique pour tous ces établissements.

## BIBLIOGRAPHIE

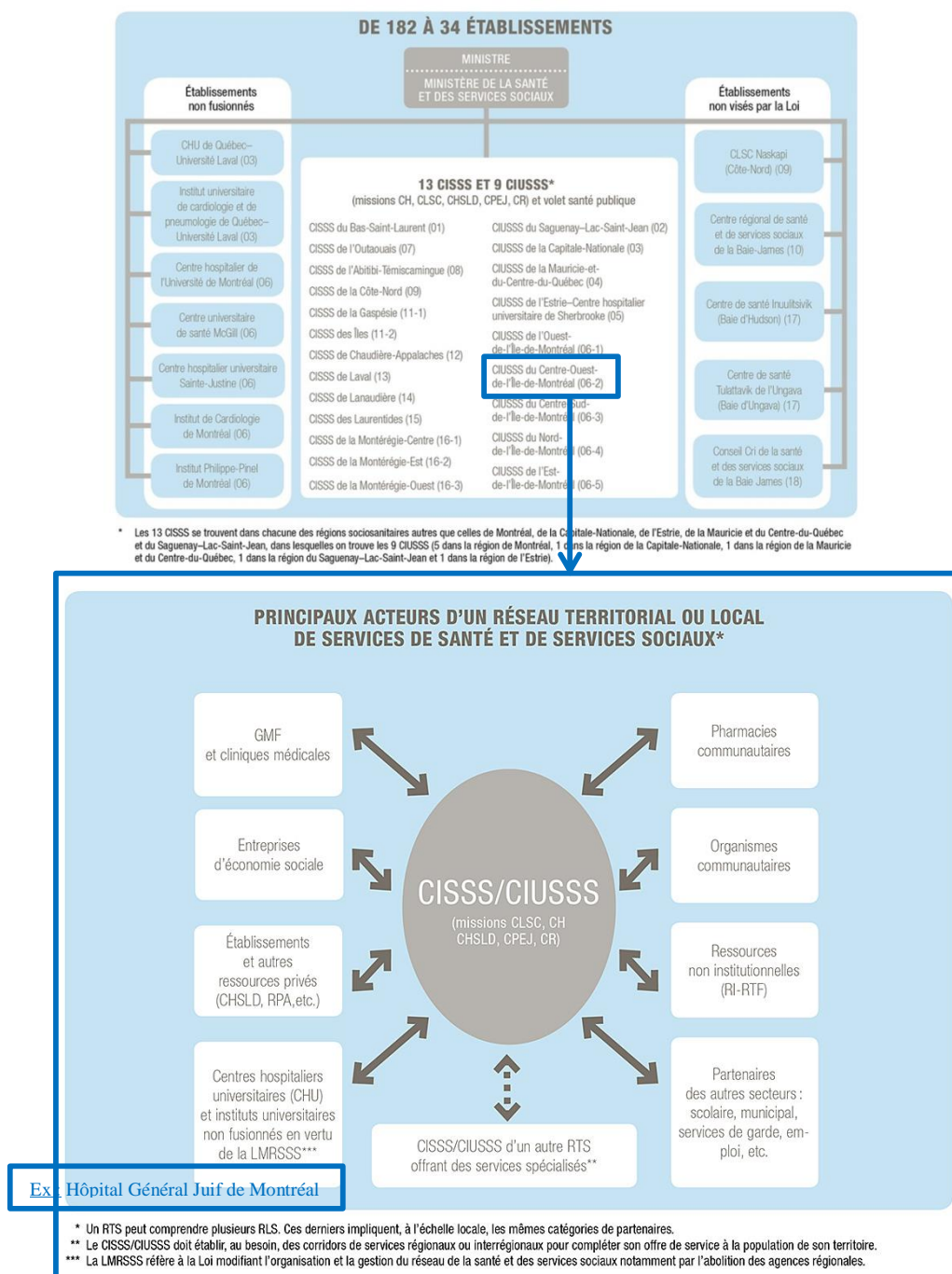
1. Landry, S. and R. Philippe, *How Logistics Can Service Healthcare*. Supply Chain Forum: An International Journal, 2004. **5**(2): p. 24-30.
2. Terzi, S. and S. Cavalieri, *Simulation in the supply chain context: a survey*. Computers in Industry, 2004. **53**(1): p. 3-16.
3. AbuKhousa, E., et al., *Simulation and Modeling Efforts to Support Decision Making in Healthcare Supply Chain Management*. The Scientific World Journal, 2014. **2014**: p. 354246.
4. Yanbing, J., W. Aihua, and Z. Fengchun. *Analysis of one hospital using simulation*. in *2006 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, 21-23 June 2006*. 2006. Piscataway, NJ, USA: IEEE.
5. Kergosien, Y., *Vehicle routing algorithms to optimize product flow and patients flow in a hospital complex*. 2010, Université François Rabelais - Tours.
6. Su, S.I.I., B. Gammelgaard, and S.L. Yang, *Logistics innovation process revisited: insights from a hospital case study*. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2011. **41**(6): p. 577-600.
7. Ruohonen, T. and P. Nakari, *Improving material logistics in a hospital environment using discrete-event simulation*. Modelling and Simulation 2013 - The European Simulation and Modelling Conference 2013, 2013: p. 299-303.
8. Kammoun, A., T. Loukil, and W. Hachicha. *The use of discrete event simulation in hospital supply chain management*. in *2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*. 2014.
9. Roberts, S.D. *Tutorial on the simulation of healthcare systems*. in *2011 Winter Simulation Conference, WSC 2011, December 11, 2011 - December 14, 2011*. 2011. Phoenix, AZ, United states: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
10. Coelli, F.C., et al., *Computer simulation and discrete-event models in the analysis of a mammography clinic patient flow*. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2007. **87**(3): p. 201-207.
11. Cassettari, L., et al. *An healthcare process reengineering using discrete event simulation*. in *2013 World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS 2013, October 23, 2013 - October 25, 2013*. 2013. San Francisco, CA, United states: Newswood Limited.
12. Lapierre, S.D. and A.B. Ruiz, *Scheduling logistic activities to improve hospital supply systems*. Computers & Operations Research, 2007. **34**(3): p. 624-641.
13. Liu, M., L. Zhang, and Z. Zhang, *Optimal scheduling of logistical support for medical resources order and shipment in community health service centers*. Journal of Industrial Engineering and Management, 2015. **8**(5): p. 1362-1379.

14. Toussaint, J. and R. Gerard, *On the Mend : Revolutionizing Healthcare to Save Lives and Transform the Industry*. Lean Enterprise Institute, 2010.
15. Zhang, L.-Y., et al. *Emergency logistics routing optimization algorithm based on FSACO*. in *3rd International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence, AICI 2011, September 24, 2011 - September 25, 2011*. 2011. Taiyuan, China: Springer Verlag.
16. De Angelis, V., G. Felici, and P. Impelluso, *Integrating simulation and optimization in health care centre management*. European Journal of Operational Research, 2003. **150**(1): p. 101-14.
17. Baril, C., et al., *Use of a discrete-event simulation in a Kaizen event: A case study in healthcare*. European Journal of Operational Research, 2016. **249**(1): p. 327-39.
18. Wurzer, G., et al., *MODYPLAN: Early-Stage Hospital Simulation based on Treatment Chains*. IFAC - Papers Online, 2015. **48**(1): p. 868-73.
19. Ganesh, K., et al., *Drug inventory management at public healthcare institutions - a case study*. International Journal of Logistics Economics and Globalisation, 2011. **3**(2-3): p. 155-87.
20. Jhawar, A., S.K. Garg, and S.N. Khera, *Modelling and evaluation of investment strategies in human resources for logistics improvement*. International Journal of Simulation and Process Modelling, 2016. **11**(1): p. 36-50.
21. Schubert, J., et al., *Simulation-based decision support for evaluating operational plans*. Operations Research Perspectives, 2015. **2**: p. 36-56.
22. Costa, R.F.S., et al. *Simulation model for regional oil derivatives pipeline networks considering batch scheduling and restricted storage capacity*. in *2014 Winter Simulation Conference - (WSC 2014), 7-10 Dec. 2014*. 2014. Piscataway, NJ, USA: IEEE.
23. Botter, R.C., A.B. Mendes, and R. Ferreira de Souza. *Simulation model for the redesign of a supply distribution system*. in *Proceedings of Summer Computer Simulation Conference (SCSC'98), 19-22 July 1998*. 1998. San Diego, CA, USA: SCS.
24. Costantino, F., G. Di Gravio, and M. Tronci. *Simulation model of the logistic distribution in a medical oxygen supply chain*. in *19th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2005, June 1, 2005 - June 4, 2005*. 2005. Riga, Latvia: European Council for Modelling and Simulation.
25. Holzapfel, A., et al., *Delivery pattern and transportation planning in grocery retailing*. European Journal of Operational Research, 2016. **252**(1): p. 54-68.
26. Jia, Y., et al. *Dynamic model and scheduling system for a real-time pickup and delivery problem with time windows*. in *2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2009, August 5, 2009 - August 7, 2009*. 2009. Shenyang, China: IEEE Computer Society.
27. Carson, J.S., II, et al. *Panel on transportation and logistics modeling*. in *Proceedings of 1997 Winter Simulation Conference, 7-10 Dec. 1997*. 1997. San Diego, CA, USA: Winter Simulation Conf.

28. Alfieri, A. and P. Brandimarte, *Object-oriented modeling and simulation of integrated production/ distribution systems*. Computer Integrated Manufacturing Systems, 1997. **10**(4): p. 261-266.
29. Lahrichi, N., et al., *Strategic analysis of the dairy transportation problem*. Journal of the Operational Research Society, 2015. **66**(1): p. 44-56.
30. Gallego, G. and D.S. Levi, *On the effectiveness of direct shipping strategy for the one-warehouse multi-retailer <i>R</i>-systems*. Manage. Sci., 1990. **36**(2): p. 240-243.
31. Mustafee, N., et al., *Motivations and barriers in using distributed supply chain simulation*. International Transactions in Operational Research, 2012. **19**(5): p. 733-51.
32. Swets, R.J. and G.R. Drake. *The Arena product family: enterprise modeling solutions*. in *Simulation Conference, 2001. Proceedings of the Winter*. 2001.
33. Altioek and Tayfur, *Appendix B - VBA in Arena*, in *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*, B. Melamed, Editor. 2007, Academic Press: Burlington. p. 415-430.
34. Wallace, R.B. and R.M. Saltzman. *Comparing skill-based routing call center simulations using C programming and Arena models*. in *Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2005*. 2005.



## ANNEXE A – DESCRIPTION DES CISSS



Source : <http://www.msss.gouv.qc.ca/reseau/reorganisation/portrait>

Figure A.1 : Description des CISSS

## ANNEXE B – MODÉLISATION DES PROCESSUS AVEC ARENA : UNITÉ DE SOIN

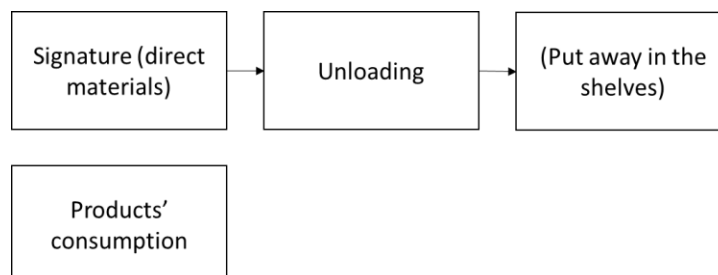


Figure B.1 : Modélisation des processus avec *Arena* : Unité de soin (modèle conceptuel)

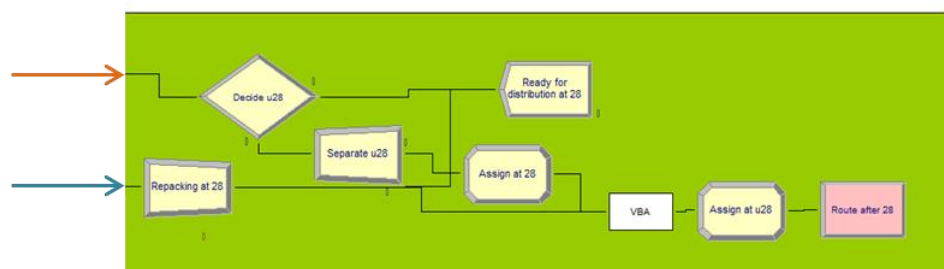


Figure B.2 : Modélisation des processus avec *Arena* : Unité de soin (modélisation avec *Arena*)

## ANNEXE C - MODÉLISATION DES PROCESSUS AVEC ARENA : RÉCEPTION

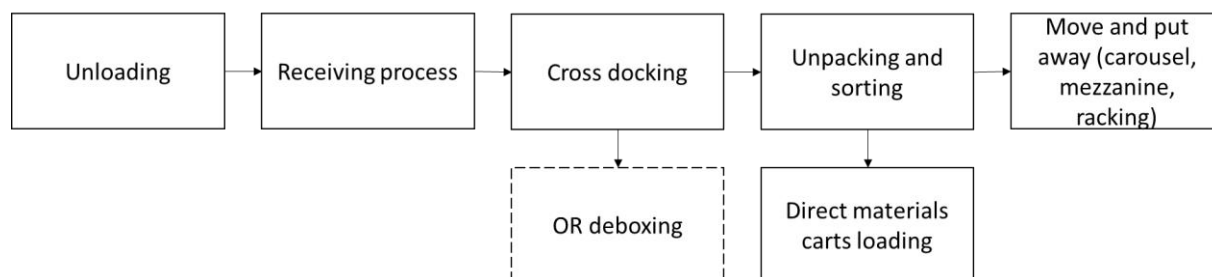


Figure C.1 : Modélisation des processus avec *Arena* : Réception (modèle conceptuel)

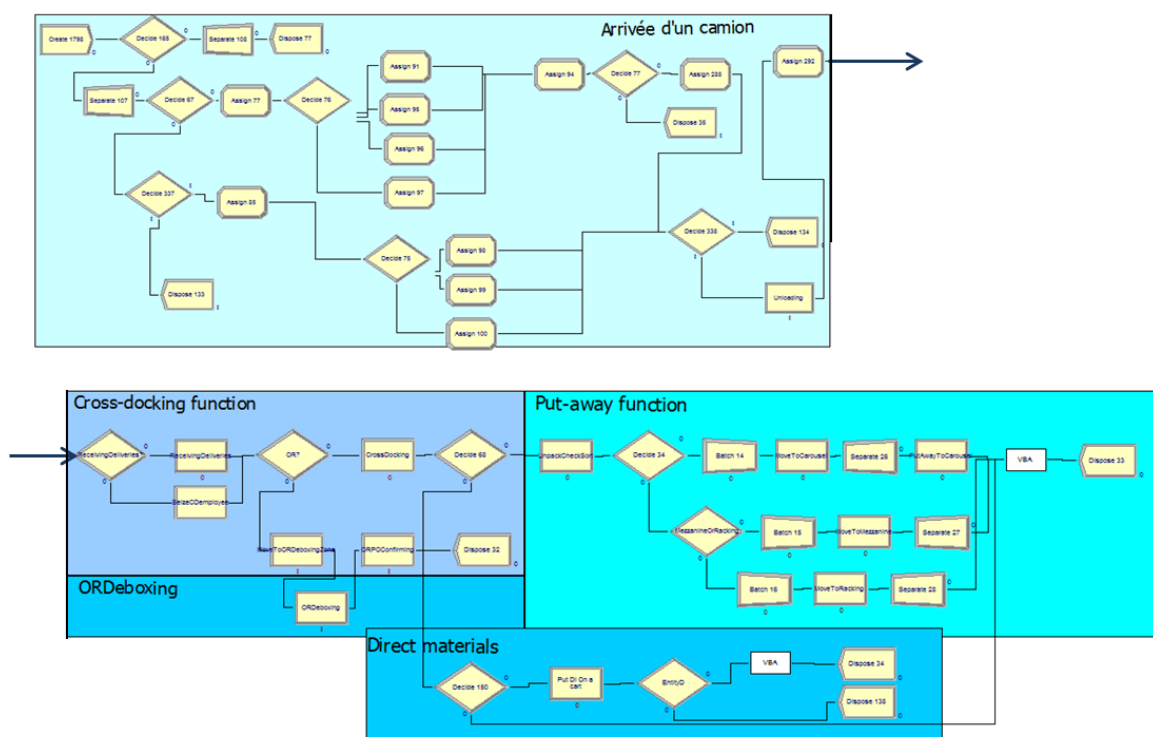


Figure C.2 : Modélisation des processus avec *Arena* : Réception (modélisation avec *Arena*)

## ANNEXE D - MODÉLISATION DES PROCESSUS AVEC ARENA : REPLISSAGE D'UN CHARIOT

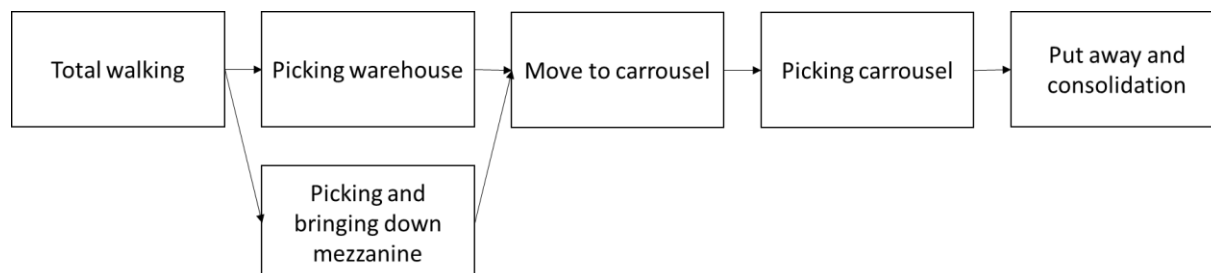


Figure D.1 : Modélisation des processus avec *Arena* : Remplissage d'un chariot (modèle conceptuel)

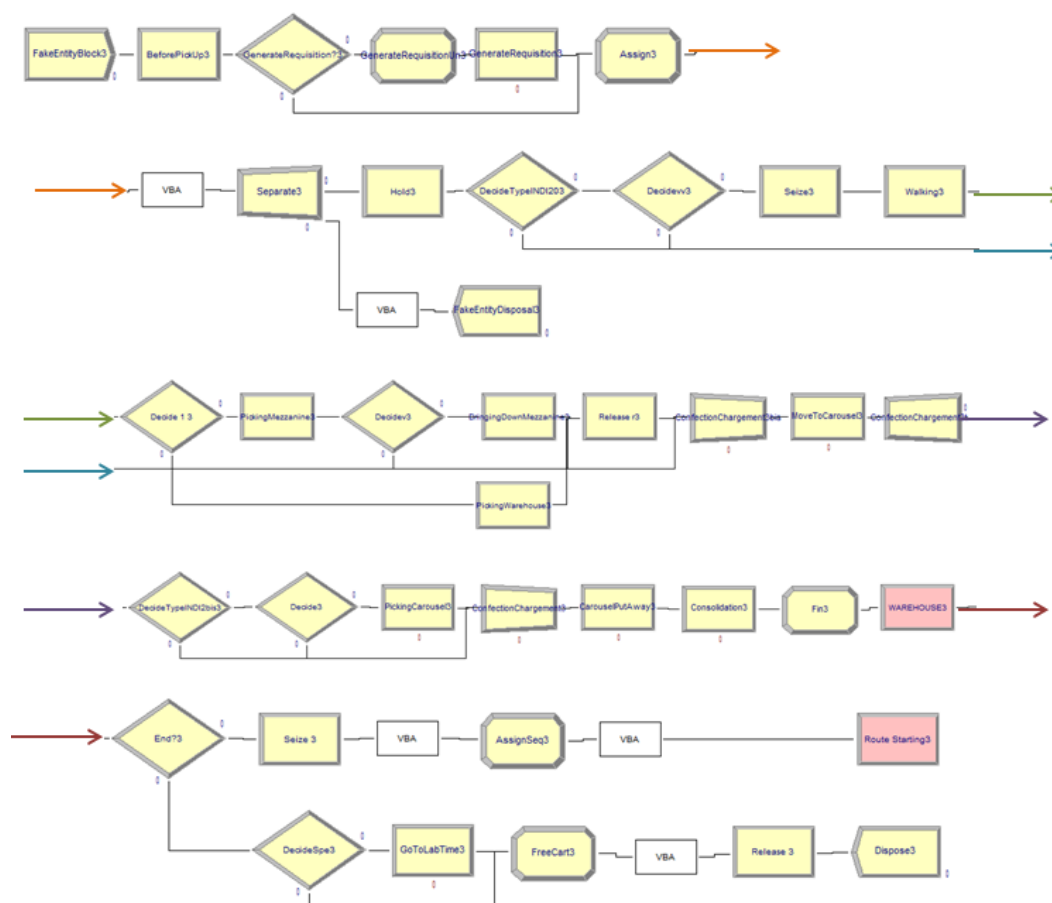


Figure D.2 : Modélisation des processus avec *Arena* : Remplissage d'un chariot (modélisation avec *Arena*)

## ANNEXE E – PARAMÈTRES DU MODÈLE DE SIMULATION

Tableau E.1 : Paramètres du modèle de simulation

Parameter		Arena paramater	Values	Process alternative
P <sub>peri</sub>	Distribution period parameter	TypePeriode	2	distribution period for "small" units = 2
			3	distribution period for "small" units = 3
			4	distribution period for "small" units = 4
P <sub>INDI</sub>	Direct and indirect deliveries grouping parameter	TypeINDI	1	indirect and direct materials distributed separately as today
			2	indirect and direct materials distributed on the same cart
			3	direct materials become indirect materials
P <sub>DIOP</sub>	Direct deliveries process parameter	TypeDIOP	0	when P <sub>DIOP</sub> = 0 direct materials routes are made randomly
			1	when P <sub>DIOP</sub> = 1 direct materials routes are optimized
P <sub>rang</sub>	Unit stockroom storage parameter	TypeRangement	1 (0)	logistics employees don't put materials in the shelves at the stockroom
			2 (1)	logistics employees put materials in the shelves at the stockroom
P <sub>cons</sub>	Products' consumption parameter	TypeConsommation	1	stable consumption
			2	unstable consumption
			3	very unstable consumption
P <sub>emer</sub>	Emergency cart paramater	TypeEmer	0	non-use of emergency carts
			1	use of emergency carts

## ANNEXE F – PRÉSENTATION DES TRAVAUX DE RECHERCHE À L'HÔPITAL GÉNÉRAL JUIF DE MONTRÉAL

### Sommaire

1. Objectif du projet de maîtrise
2. Démarche
  1. Observations
  2. Collecte de données
  3. Revue de littérature
  4. Simplification
  5. Modèle de simulation
  6. Expériences
3. Avancement
4. Utilisation du modèle par JGH

► 2



Hôpital général juif  
Jewish General Hospital



### Simulation et amélioration d'un réseau logistique hospitalier

Présentation de projet de maîtrise par Gabriel Madelin  
4 Novembre 2016

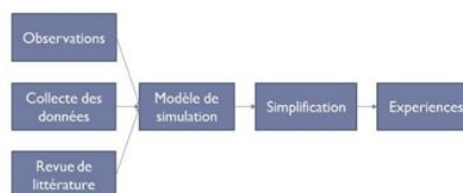
1

### Objectif du projet de maîtrise

- Construction d'un modèle de simulation d'un réseau logistique hospitalier basé sur le JGH
- Utilisation du modèle de simulation pour comparer différents scénarios du processus logistique
- Aide pour la prise de décisions concernant l'amélioration des processus logistiques

► 3

### Démarche



► 4

### Observations

- Observations du fonctionnement général de la logistique lors du projet avec le service courrier
- Observations sur plusieurs heures au sein des équipes logistiques

► 5

### Collecte des données

- Récupération auprès des employés du département des opérations logistiques de documents tels que :
  - Manpower requirements analysis
  - Summary per period of the consumption, usage and transactions of each product per cost center
  - Products description document
  - ...

► 6

## Revue de littérature

- ▶ Peu de travaux effectués sur ce type de projet
- ▶ Récolte d'articles concernant :
  - ▶ la simulation
  - ▶ l'amélioration des réseaux logistiques
  - ▶ l'optimisation de routes de distribution
  - ▶ le milieu médical

▶ 7

## Modèle de simulation

- ▶ Voici les éléments inclus dans le modèle de simulation :
  - ▶ Réception des marchandises
  - ▶ Chargement des chariots (livraisons directes, indirectes et livraisons en urgences)
  - ▶ Routes hebdomadaires de distribution (établies à l'aide d'un algorithme d'optimisation)
  - ▶ Ressources
  - ▶ Unités (réceptions et consommations)
  - ▶ Modèle générique, flexible et paramétrable pour différentes expériences (tests de changements dans le processus actuel)



▶ 7 - K9 SURGERY

## Simplification

- ▶ 56 unités (58% des quantités totales) au lieu de 776
- ▶ 1500 type de matériel (99,9% des quantités totales) au lieu de > 10 000
  - ▶ 593 matériels en livraison indirecte
  - ▶ 907 matériels en livraison directe
- ▶ D'autres simplifications sont intervenues :
  - ▶ Dans les processus : simplification des processus papiers et récupération de temps approximatifs
  - ▶ Suppression des ressources par tâche précise tel qu'observer et lu dans les documents fournis

▶ 9

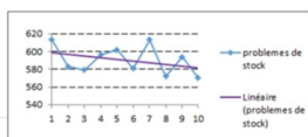
## Expériences (1)

- ▶ On règle différents paramètres dans le modèle pour obtenir un scénario
- ▶ Scénario : certains éléments du processus actuel + nouveaux éléments du processus (améliorations possibles)
- ▶ Comparaison des différents scénarios simulés
- ▶ Comparaisons avec des indicateurs de performance :
  - ▶ niveau de stock dans les unités
  - ▶ utilisation des ressources
  - ▶ temps d'attente des spécimens avant collecte
  - ▶ temps de confection et de transport pour un chariot

▶ 10

## Expériences (2)

- ▶ Principaux scénarios testés et comparés :
  - ▶ Regroupement des livraisons directes et indirectes
  - ▶ Optimisation des livraisons des routes directes
  - ▶ Rangement des produits par la logistique
  - ▶ Ramassage des spécimens par la logistique
  - ▶ Fréquence de distribution pour les « petites » unités
  - ▶ Chariots d'urgence



▶ 11

## Avancement

- ▶ Le modèle de simulation est presque achevé
- ▶ Les expériences vont pouvoir commencer
- ▶ Comparaisons des scénarios au moi de Novembre 2016
- ▶ Présentation des résultats dans un article d'ici Janvier 2017



▶ 12

## Utilisation du modèle par JGH

- Utilisation possible des conclusions des comparaisons des différents scénarios
- Pour un scénario donné le modèle de simulation permet d'obtenir et de tester un planning optimisé des routes hebdomadaires mais son utilisation est non possible dans la mesure où le modèle est un modèle simplifié



► 13



## Simulation et amélioration d'un réseau logistique hospitalier

Présentation de projet de maîtrise par Gabriel Madelin  
4 Novembre 2016

14



## ANNEXE G – EXEMPLE DE DOCUMENT PRESENTÉ À L'HÔPITAL GÉNÉRAL JUIF DE MONTRÉAL POUR LA VALIDATION DU MODÈLE DE SIMULATION

### Validation du modèle de simulation

#### 1. Les dimensions du modèle de simulation

- 56 unités (58% des quantités totales) au lieu de 776
- 1500 type de matériel (99,9% des quantités totales) au lieu de > 10 000
  - 593 matériels en livraison indirecte
  - 907 matériels en livraison directe

Ces chiffres sont extraits du document « The summary per period of the consumption, usage and transactions of each product per cost center ».

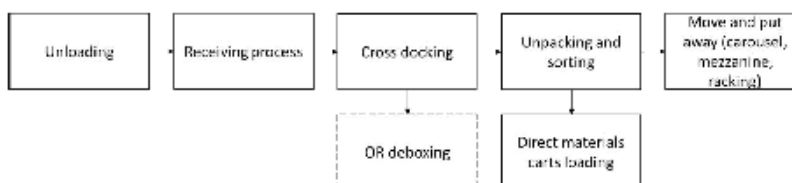
#### 2. Quantités

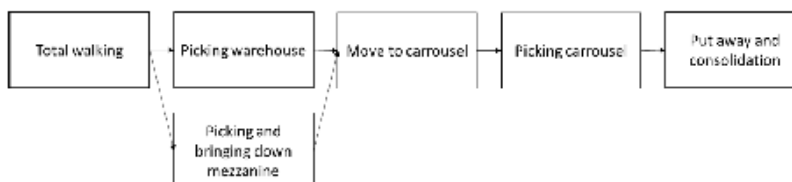
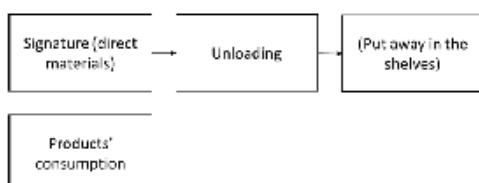
Ce même document nous a également permis de déterminer les quantités de stocks dans les unités. Il s'agissait de déterminer les quantités suivantes : Quota, Seuil et Consommation. Pour tous ces unités on a fait des moyennes sur une semaine d'un échantillon de 85 jours après l'ouverture du pavillon H.

#### 3. Les processus

Voici des diagrammes des différents processus simulés. Ces processus sont des versions simplifiées des processus récupérés dans le document « Logistics Operations : Manpower Requirements Analysis ». Par « simplifiées », on entend par exemple : regroupement de tâches et suppression de tâches non pertinentes.

##### Reception :



Indirect material loading :Units :

Ceux sont évidemment des descriptions générales, certaines étapes n'interviennent pas tout le temps, d'autres interviennent à la place d'autres selon différentes configurations, propriétés, statiques ou scénarios. Ces statistiques sont extraites dans le même document : par exemple les produits à récupérer dans la mezzanine représentent 16% des produits des produits du warehouse. Pour le nombre de produits qui sont stockés dans le carousel, cette information est disponible dans le fichier « Products description document ».

Pour ce qui est des temps de ces différents processus, ils ont été également récupérés dans le document « Logistics Operations : Manpower Requirements Analysis ».

#### 4. Harmonisation des données

Nous avons fait face à un problème : entre les différents documents les données ne correspondent pas toujours. Par exemple le nombre de boîtes sur un chariot ne correspondent pas entre les documents « Logistics Operations : Manpower Requirements Analysis » et « The summary per period of the consumption, usage and transactions of each product per cost center ». Comme on a décidé d'utiliser les quantités données par le deuxième document, on a fixé le nombre de chariots par jours et on a adapté les temps de processus et le nombre de paquets par chariot dans le premier document. Donc effectivement les temps par paquet sont raccourcis et la quantité sur le chariot est grande (300). Mais le rendu final est réaliste et harmonisé.

## 5. Les ressources

Pour les ressources, on a récupéré ce qui est noté dans le document « Logistics Operations : Manpower Requirements Analysis ». On a 18.26 ressources. Dans le modèle de simulation nous avons mis 17 ressources.

## 6. Scénarios testés

Voici les paramètres qui peuvent être réglés et nous fournissent les différents scénarios testés :

	Parameter	Arena parameter	Values	Process alternative
P <sub>peri</sub>	Distribution period parameter	TypePeriode	2	distribution period for "small" units = 2
			3	distribution period for "small" units = 3
			4	distribution period for "small" units = 4
P <sub>ind</sub>	Direct and Indirect deliveries grouping parameter	TypeINDI	1	indirect and direct materials distributed separately as today
			2	indirect and direct materials distributed on the same cart
			3	direct materials become indirect materials
P <sub>diop</sub>	Direct deliveries process parameter	TypeDIOP	0	when P <sub>ind</sub> = 1 direct materials routes are made randomly
			1	when P <sub>ind</sub> = 1 direct materials routes are optimized
P <sub>spes</sub>	Specimen collection parameter	RamassageSpecimen	1	logistics employees don't collect specimen
			2	logistics employees collect specimen
P <sub>ring</sub>	Unit stockroom storage parameter	TypeRangement	1	logistics employees don't put materials in the shelves at the stockroom
			2	logistics employees put materials in the shelves at the stockroom
P <sub>cons</sub>	Products' consumption parameter	TypeConsumation	1	stable consumption
			2	random consumption
			3	high random consumption
P <sub>emer</sub>	Emergency cart parameter	TypeEmer	0	non-use of emergency carts
			1	use of emergency carts

## 7. Les indicateurs de performances

Voici les indicateurs de performances qui nous permettent de comparer les résultats :

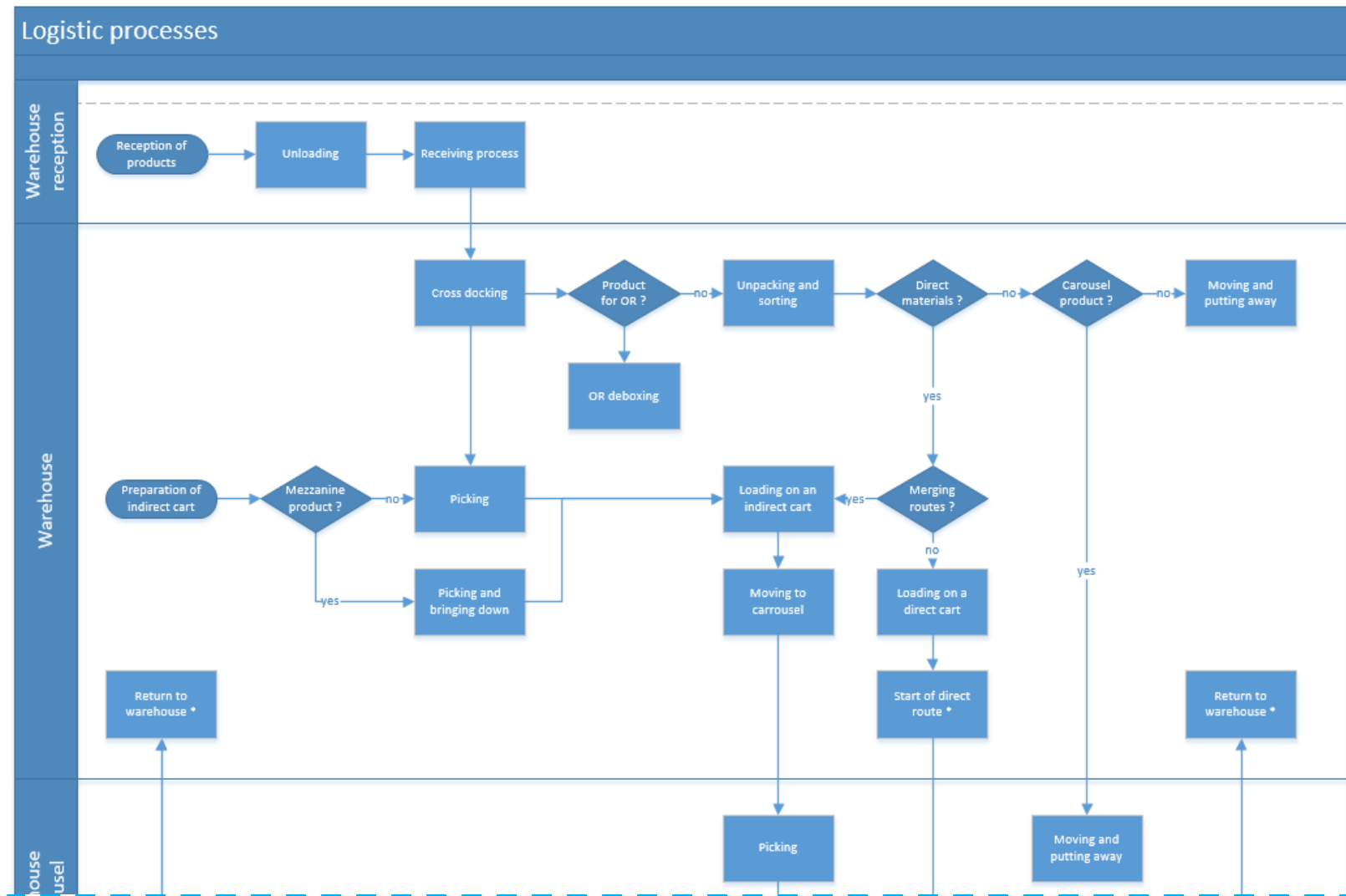
- Le niveau de stock dans les unités pour chaque produit (une variable permet d'avoir le nombre de niveaux « mauvais »).
- L'utilisation des ressources (pourcentage d'occupation des ressources)
- Le temps d'attente des spécimens avant leur collecte
- Le temps de confection, le temps d'attente et le temps de transport pour un chariot de matériels indirects.

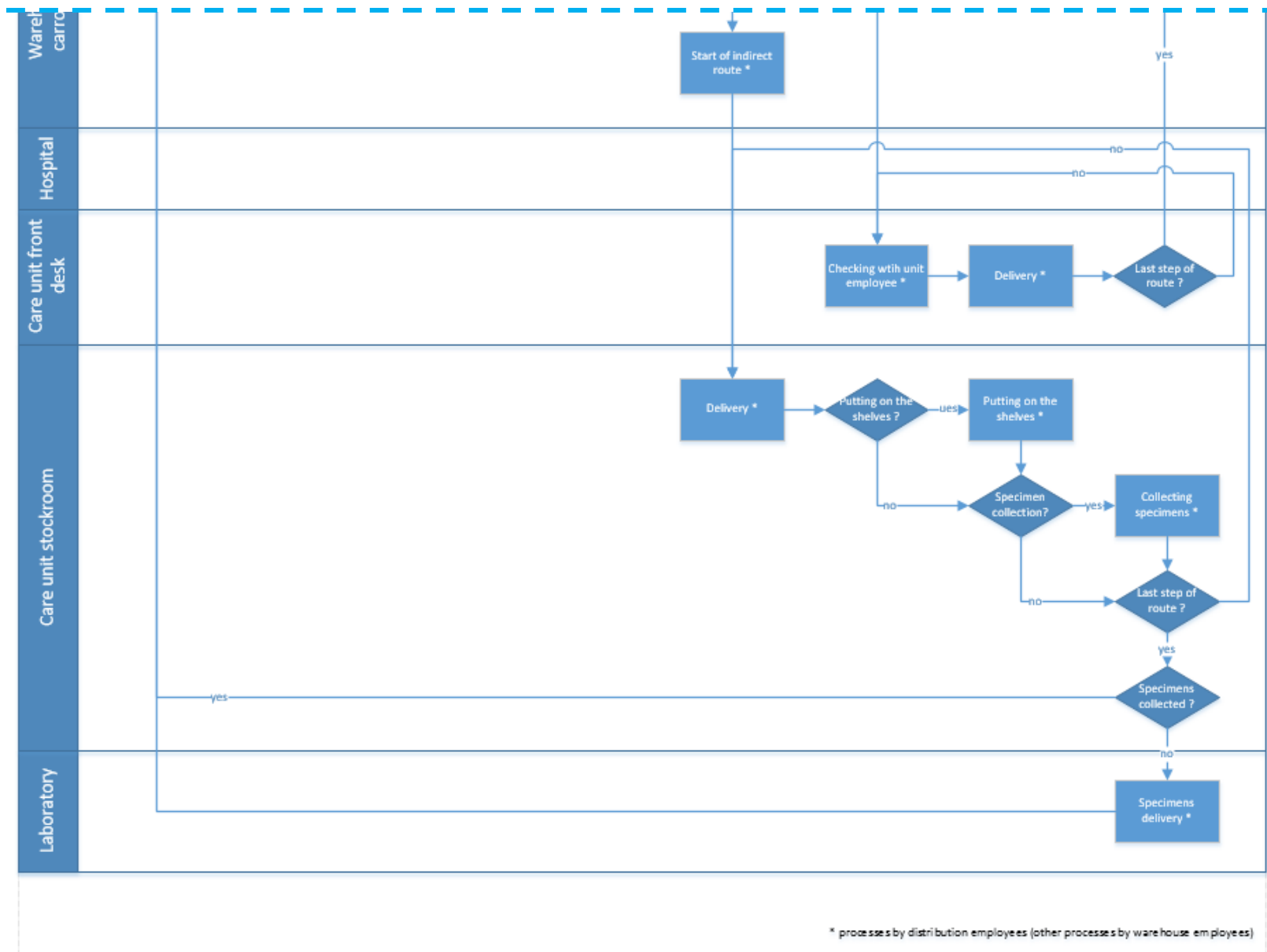
## ANNEXE H – TEMPS DES PROCESSUS EXTRAITS DES DONNÉES

Tableau H.1 : Temps des processus extraits des données

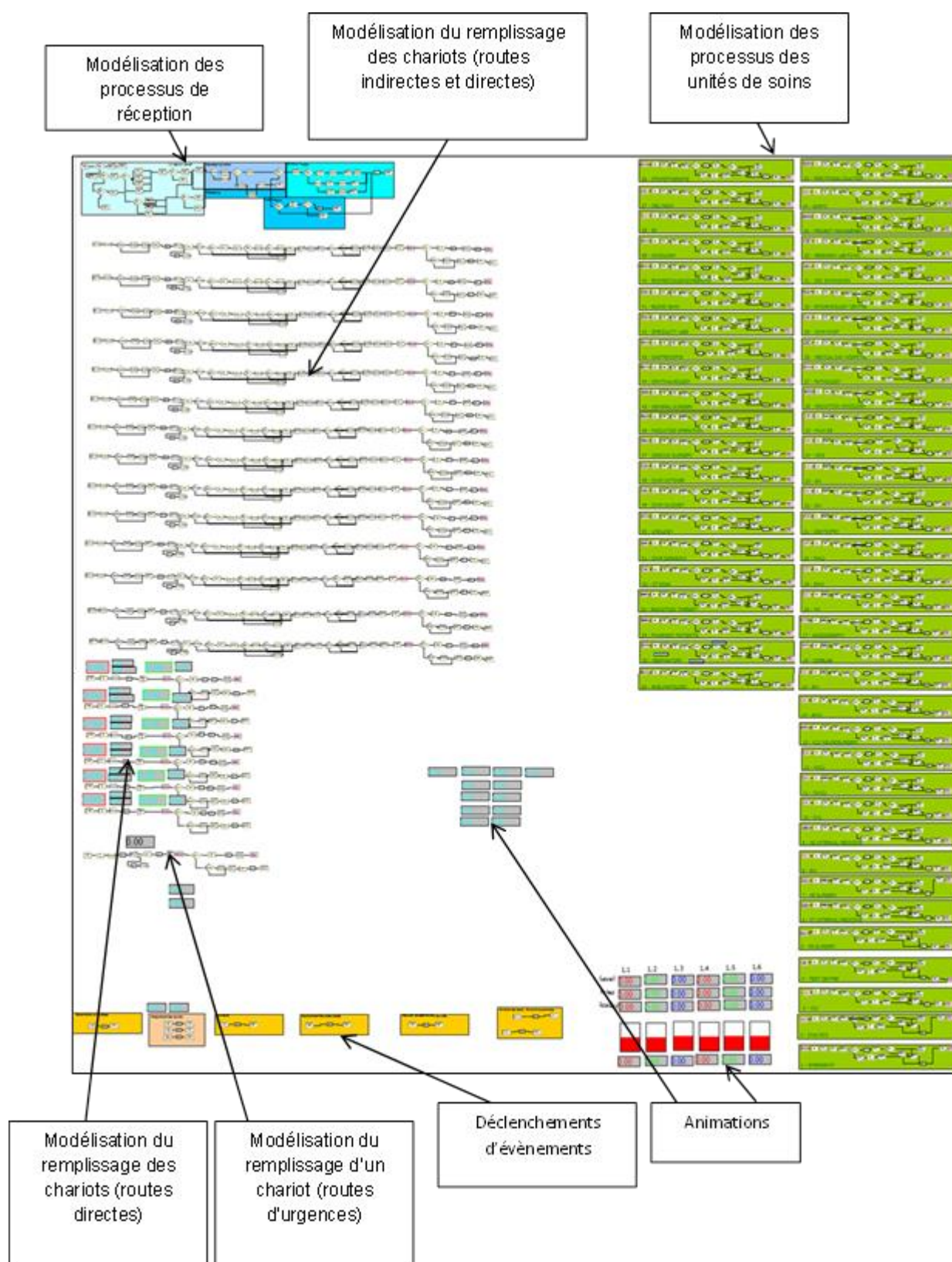
Processus	Temps en secondes
UnloadingTime	25/120
ReceivingDeliveriesTime	90
CrossDockingTime	30/40
ORPOConfirmingTime	40
PutDlcart	25
UnpackCheckSortTime	26
MoveToMezzanineTime	445
PutAwayToCarouselTime	25
MoveToRackingTime	181
GenerateRequisitionTime	30
PickingMezzanineTime	75.6
WalkingTime	78
BringingDownMezzanineTime	300
PickingWarehouseTime	21.93
MoveToCarouselTime	186
PickingCarouselTime	21.5
ConsolidationTime	273.37
CarouselPutAwayTime	15
GoToLabTime	840
DechargementTime	8/12
RangementTime	0/10
SignatureTime	60/0

## ANNEXE I – « MAPPING » DES PROCESSUS LOGISTIQUES





## ANNEXE J – VUE D'ENSEMBLE DU MODÈLE DE SIMULATION



## ANNEXE K – EXEMPLE DE ROUTES OPTIMISÉES UTILISÉES LORS DE LA SIMULATION

Routes jour 1 et periode 3 a 9,5 h			
Place	Numero	ID	
Route avec vehicule n°1			
EMERGENCY	1	56	
WAREHOUSE1	0	3	
Route avec vehicule n°2			
PATHOLOGY	27	58	
CORELAB	16	10	
4M	18	41	
WAREHOUSE2	0	4	
Route avec vehicule n°3			
RADIATION ONCOLOGY	26	65	
DENTISTRY	21	63	
3NW	19	50	
E4	38	55	
GENERAL SURGERY	45	74	
CARDIAC SURGERY	47	32	
6N	23	60	
WAREHOUSE3	0	5	
Route avec vehicule n°4			
CT SCAN	52	16	
PHARMACY PATIENTS	54	73	
RHEUMATOLOGY	56	21	
CRU MAIN	37	1	
WAREHOUSE4	0	7	
Route avec vehicule n°5			
ONCOLOGY	39	26	
WAREHOUSE5	0	8	

Figure K.1 : Exemple de routes optimisées utilisées lors de la simulation



## ANNEXE L – RÉDUCTION DU MODÈLE (DÉTAILS)

Tableau L.1 : Réduction du modèle (détails)

		Reduced model	Full model
Time of simulation		12 minutes	5 hours
Number of indirect material types		50	593
Number of direct material types		76	907
Percentage of full model (number of routes)		50%	100%
Indirect material distribution employees		3	6
Percentage of full model (quantities)		84%	100%
Warehouse employees		6	9
Number of stock levels		997	4598
P_INDI = 1 P_peri = 3	Use of ressources	45,6%	43,5%
	Number of problematical stock levels (percentage)	37,0%	32,3%
	Time of transportation (minutes)	45,3	46,2

## ANNEXE M – NOMBRE DE ROUTES

Tableau M.1 : Nombre de routes

	$P_{peri} = 2$	$P_{peri} = 3$	$P_{peri} = 4$	
Simulation model	$149 + 33 = 182$	$151 + 33 = 184$	$153 + 33 = 186$	$P_{INDI} = 1$
	$176 + 0 = 176$	$177 + 0 = 177$	$182 + 0 = 182$	$P_{INDI} = 2 \text{ or } 3$
JGH data	$200 + 34 = 234$			

## ANNEXE N – CONFIRMATION DE SOUMISSION DE L'ARTICLE

Elsevier Editorial System(tm) for Computers  
& Industrial Engineering  
Manuscript Draft

Manuscript Number:

Title: Modelling and improving the logistic distribution network of a hospital

Article Type: Research Paper

Keywords: Logistic distribution network; simulation; optimization; decision making

Corresponding Author: Professor Nadia Lahrichi,

Corresponding Author's Institution: Polytechnique Montreal

First Author: Gabriel Madelin

Order of Authors: Gabriel Madelin; Nadia Lahrichi

Abstract: The improvement of logistic processes is important for the efficiency of a system, and in health care systems such as hospitals the main logistic process is a distribution network. This article discusses using simulation to improve the distribution. We use the simulation model to test various scenarios and incorporate an optimization algorithm to find the best distribution routes. The results highlight concrete improvements that could be made. These are: the use of the same cart for different types of supplies to reduce the number of routes; the reduction of the distribution frequency for certain care units to reduce stock problems; and the use of optimized routes to reduce the transportation time.

**De:** CAIE <[eesserver@eesmail.elsevier.com](mailto:eesserver@eesmail.elsevier.com)>  
**Objet:** Submission Confirmation  
**Date:** 21 février 2017 à 15:30:43 UTC+1  
**À:** [nadia.lahrichi@polymtl.ca](mailto:nadia.lahrichi@polymtl.ca)  
**Répondre à:** CAIE <[Computers&IndustrialEngineering@elsevier.com](mailto:Computers&IndustrialEngineering@elsevier.com)>

Research Paper

Dear Professor Lahrichi,

Your submission entitled "Modelling and improving the logistic distribution network of a hospital" has been received by Computers & Industrial Engineering.

You may check on the progress of your paper by logging on to the Elsevier Editorial System as an author. The URL is <https://ees.elsevier.com/caie/>.

Your username is: [nadia.lahrichi@polymtl.ca](mailto:nadia.lahrichi@polymtl.ca)

If you need to retrieve password details, please go to: [http://ees.elsevier.com/caie/automail\\_query.asp](http://ees.elsevier.com/caie/automail_query.asp)

Your manuscript will be given a reference number once an Editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal. We will exert every effort to provide you with a prompt and informative review.

Kind regards,

Elsevier Editorial System  
Computers & Industrial Engineering